

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Luka Car**

Zagreb, 2012

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Mladen Crneković

Student:

Luka Car

Zagreb, 2012

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, služeći se znanjem stečenim tijekom studija, te navedenom literaturom i izvorima.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Mladenu Crnekoviću na brojnim stručnim savjetima i potpori tijekom izrade ovog rada.

Također se zahvaljujem Dragi Bermancu i poduzeću Berman Plastika d.o.o. , Igoru Damjaniću i poduzeću Franck d.d. , te Mariu Kolomejcu i poduzeću Kolomejec d.o.o. , bez čijih donacija, pomoći u izradi dijelova, te stručnih savjeta, izrada ovog rada ne bi bila moguća.

Zahvaljujem se kolegi Bojanu Divjakinji koji je izradio složen vizijski sustav kompatibilan sa mobilnim robotom konstruiranim u ovom radu, te osim toga pružio podršku i suradnju na više područja rada.

Hvala kolegama Siniši Boškoviću i Draženu Mrvošu koji su pomogli pri nalaženju adekvatnih obradnih i softverskih alata.

Konačno, hvala obitelji, prijateljima i svim ostalima koji su me podržali ili pomogli na neki drugi način.

Luka Car



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **LUKA CAR** Mat. br.: 0035160047

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **MOBILNI ROBOT NA GUSJENIČNI POGON**

Naslov rada na engleskom jeziku: **CATERPILLAR MOBILE ROBOT**

Opis zadatka:

Mobilni roboti nalaze sve veću primjenu u svakodnevnom životu. Okolina u kojoj rade nije uvijek uređena pa su neka područja mobilnim robotima nedostupna. Jedno od rješenja je gusjenični pogon koji robotu daje robusnost i sprječava dolazak u nepokretno stanje.

U tu je svrhu potrebno konstruirati mobilni robot odgovarajuće veličine s gusjeničnim pogonom, kojega prevrtanje neće onesposobiti za rad. Robot mora imati autonomni izvor energije, upravljačku jedinicu te bežičnu komunikaciju prema glavnom računalu.

Potrebno je:

- konstruirati mehanički sustav mobilnog robota i priložiti dokumentaciju za njegovu izradu,
- projektirati elektronički sklop za upravljanje robotom,
- napisati program za odabrani mikrokontroler preko kojega se robot upravlja,
- na osobnom računalu izraditi sučelje za upravljanje robotom.

Zadatak zadan:

8. ožujka 2012.

Rok predaje rada:

10. svibnja 2012.

Predviđeni datum obrane:

16., 17. i 18. svibnja 2012.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof.dr.sc. Mladen Crneković

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	II
POPIS SLIKA .....	V
POPIS TABLICA.....	VII
POPIS OZNAKA .....	VIII
SAŽETAK.....	X
1 UVOD .....	1
2 ISTRAŽIVANJE.....	2
2.1 Mikrokontroleri .....	2
2.1.1 BASIC Stamp.....	2
2.1.2 Miniboard.....	3
2.1.3 LAB-X3.....	3
2.2 Slični projekti .....	6
2.2.1 ComputerOnWheels .....	7
2.2.2 SERB – Arduino controlled servo robot .....	7
2.2.3 ArduRover.....	8
2.2.4 CoroBot Classic.....	9
2.2.5 Jaguar Lite Tracked Mobile Platform .....	10
2.2.6 HD2 SWAT/EOD Tactical Threaded Robot.....	11
2.3 Električni pogoni .....	12
2.3.1 Promjena smjera vrtnje istosmjernog motora, H-most.....	14
2.3.2 Regulacija brzine vrtnje istosmjernog motora .....	17
2.4 Gusjenični pogon.....	18
3 KONCEPT .....	21
3.1 Informacijski model.....	21
3.2 Struktura .....	23

3.3	Oblik prihvatnice .....	24
3.4	Kinematički model .....	24
4	INFORMACIJSKI SUSTAV .....	27
4.1	Klijent računalo .....	27
4.2	Server računalo .....	28
4.3	Arduino .....	29
4.3.1	Arduino Development Environment .....	29
4.3.2	Program .....	31
5	ENERGETSKI SUSTAV .....	32
5.1	Pogonski motori.....	32
5.1.1	Upravljanje pogonskim motorima.....	34
5.1.2	Izvor energije motora .....	37
5.2	Servo motori .....	38
6	MEHANIČKI SUSTAV .....	39
6.1	Okvir.....	39
6.2	Sklop za podešavanje međuosovinskog razmaka .....	40
6.3	Kotači i gusjenice .....	43
6.3.1	Gusjenica .....	43
6.3.2	Obloga kotača.....	45
6.3.3	Kotač .....	46
6.3.4	Proračun duljine gusjenice .....	47
6.4	Prihvatnica .....	49
6.5	Kućište .....	51
6.6	Konačni izgled robota.....	52
7	ZAKLJUČAK .....	55
8	PRILOZI.....	56
8.1	Programski kod Arduino mikrokontrolera .....	56

8.2	HTML kod upravljačke stranice .....	62
9	LITERATURA .....	66

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Proces razvoja proizvoda [4].....	1
Slika 2.	BASIC Stamp.....	2
Slika 3.	Miniboard.....	3
Slika 4	LAB-X3 .....	4
Slika 5.	ComputerOnWheels.....	7
Slika 6.	SERB.....	7
Slika 7.	ArduRover.....	8
Slika 8.	CoroBot Classic .....	9
Slika 9.	Jaguar Lite Tracked Mobile Platform .....	10
Slika 10.	Jaguar Lite sustav upravljanja.....	10
Slika 11.	HD2 SWAT/EOD Tactical Threaded Robot .....	11
Slika 12.	HD2 SWAT/EOD Tactical Threaded Robot upravljač.....	12
Slika 13.	Istosmjerni motor .....	13
Slika 14.	H-most.....	14
Slika 15.	Visoka i niska strana H-mosta .....	15
Slika 16.	Arduino Motor Shield .....	16
Slika 17.	PWM regulacija brzine .....	18
Slika 18.	Skica optimalne strukture robota .....	23
Slika 19.	Skica optimalnog oblika prihvatnice .....	24
Slika 20.	Trenutni polovi brzina.....	25
Slika 21.	Upravljačka stranica.....	28
Slika 22.	Arduino Development Environment.....	30
Slika 23.	SuperDroid Robots ATR.....	32
Slika 24.	Karakteristike IG32P elektromotora .....	33
Slika 25.	LMD18200 kontroler motora.....	35
Slika 26.	Signal na LMD18200 kontroleru motora.....	35
Slika 27.	Elektronička shema adaptera za LMD18200 .....	36



Slika 28.	Adapter za LMD18200 sa hladnjakom .....	36
Slika 29.	Odabrana akumulatorska baterija.....	37
Slika 30.	Rastavljeni servo motor .....	38
Slika 31.	Odabrani servo motori .....	38
Slika 32.	Okvir .....	40
Slika 33.	Klizač .....	41
Slika 34.	Presjek klizača .....	42
Slika 35.	Klizač pogonskog kotača i motor .....	42
Slika 36.	Gusjenica.....	45
Slika 37.	Kotač sa oblogom .....	47
Slika 38.	Skica gusjenice.....	48
Slika 39.	Prihvatnica .....	50
Slika 40.	Bočni pogled prihvatnice – podignuta .....	50
Slika 41.	Bočni pogled prihvatnice - spuštена .....	50
Slika 42.	Dijelovi kućišta .....	51
Slika 43.	Kućište prihvatnice .....	52
Slika 44.	Unutrašnjost robota.....	53
Slika 45.	Unutrašnjost robota i dodatne prihvatnice .....	53
Slika 46.	Kompletni sklop.....	54

**POPIS TABLICA**

Tablica 1.	Arduino izvedbe .....	5
Tablica 2.	Podjela tranzistora po mogućnosti odvođenja topline.....	17
Tablica 3.	Tipovi gusjenica .....	19
Tablica 4.	Informacijski model .....	21

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$v_d$	km/h	brzina desne gusjenice
$v_l$	km/h	brzina lijeve gusjenice
$v$	km/h	brzina kretanja robota
$v_x$	km/h	poprečna komponenta brzine robota
$v_y$	km/h	uzdužna komponenta brzine robota
$\omega_z$	rad/s	kutna brzina, rotacija robota
$P$	/	pol brzine robota
$x_P$	mm	x koordinata pola brzine robota
$y_P$	mm	y koordinata pola brzine robota
$P_l$	/	pol brzine lijeve gusjenice
$x_{Pl}$	mm	x koordinata pola brzine lijeve gusjenice
$y_{Pl}$	mm	y koordinata pola brzine lijeve gusjenice
$P_d$	/	pol brzine desne gusjenice
$x_{Pd}$	mm	x koordinata pola brzine desne gusjenice
$y_{Pd}$	mm	y koordinata pola brzine desne gusjenice
$n$	min <sup>-1</sup>	brzina vrtnje u okretajima po minuti
$r_v$	mm	vanjski promjer remenice
$F_o$	N	obodna sila
$M$	Nm	okretni moment
$F_{uk}$	N	ukupna sila
$R$	mm	unutarnji polumjer gusjenice, vanjski polumjer kotača s oblogom
$a_{min}$	mm	minimalni međuosovinski razmak
$a_{max}$	mm	maksimalni međuosovinski razmak
$O_o$	mm	opseg obloge
$L_{i\ min}$	mm	minimalna duljina gusjenice

$L_{i \max}$	mm	maksimalna duljina gusjenice
$\Delta$	mm	razlika maksimalne i minimalne duljine gusjenice
$L_i$	mm	odabrana duljina gusjenice

## SAŽETAK

Ovaj rad bavi se teoretskim i praktičnim aspektima konstruiranja mobilnog robota srednje veličine na gusjenični pogon. Cilj je rada napraviti robotsku platformu koja je potpuno funkcionalna sama za sebe, no ujedno i vrlo otvorena za daljnje proširivanje.

Objašnjeni su različiti oblici mikrokontrolera, pogona i gusjenica kako bi se došlo do optimalnog izbora komponenti.

Osmišljen je koncept koji najbolje ispunjava zadane uvjete, u kojem je definiran opći oblik robota i način upravljanja. Opisan je kinematički model za odabrani oblik, koji objašnjava ovisnost ulaznih varijabli, kao što su brzina gusjenice i karakteristike terena sa kretanjem robota.

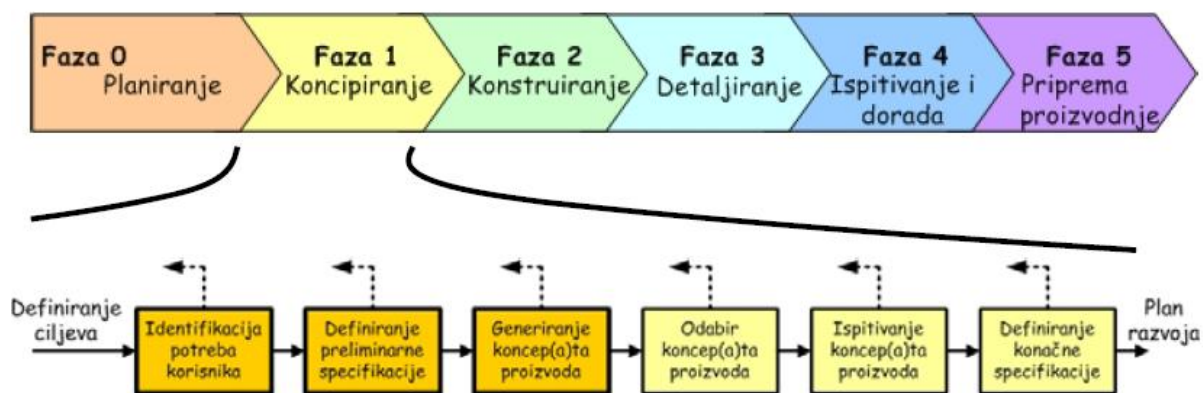
Odabrane su potrebne elektroničke komponente zahtijevanih karakteristika, a zatim su odabrana odgovarajuća softverska rješenja za upravljanje robotom, koja su prilagođena specifičnoj upotrebi.

Konačno, konstruiran je cijeli mehanički dio robota. U tom dijelu su dana praktična rješenja, sklopovi i naprave koje omogućuju gibanje robota, postavljanje i zatezanje gusjenica, otvaranje i zatvaranje kućišta, te ostale zahtijevane funkcije. U CAD paketu SolidWorks 2010 je napravljen potpuno funkcionalan 3D model sa svim dijelovima koji sačinjavaju robota.

# 1 UVOD

Iako je čovjek oduvijek putovao izvan ceste, znanstveni pristup takvom obliku kretanja razvijao se vrlo sporo. Povijest transporta uvelike je vezana uz izgradnju prometnica. Sama civilizacija često je završavala „na kraju puta“. Uglavnom je jeftinije izgraditi cestu i time pojednostaviti konstrukciju samih vozila koja idu po njoj. U zadnje vrijeme javlja se povećani interes za vozilima koja su sposobna sići sa ceste. Najbolja svojstva na takvom terenu imaju vozila na gusjenični pogon. Sa razvojem robotike javila se ideja o automatizaciji takvih vozila jer se često nalaze u okolnostima koje su nepovoljne za čovjeka. Mobilni roboti na gusjenični pogon mogu biti korisni u djelatnostima koje zahtijevaju mobilnost izvan ceste, kao što su poljoprivreda, vojska, šumarstvo, rudarstvo i istraživanje drugih planeta. [1] Vozila na prirodnim terenima koja se kreću pomoću gusjenica koriste veliku dodirnu površinu sa tlom, što omogućava bolju trakciju nego kotači. [2]

Koncipiranje i konstruiranje u strojarstvu uglavnom su kreativne aktivnosti koje uključuju proces racionalnog donošenja odluka. Generalno govoreći usmjerene su zadovoljavanju određene potrebe pomoću mehaničkih sustava, čija generalna konfiguracija, specifikacije, performanse i detaljna definicija zadovoljavaju zamišljenu zadaću. [3] Ne postoji ujedinjeni pristup ili metodologija kako koncipirati i konstruirati neki sustav, isto kako i ne postoji unificirani pristup kreativnosti. S obzirom na zadani zadatak, svaki konstruktor može doći do različitog rješenja. Usprkos toj činjenici postoje opće smjernice koje bi mogle biti korisne u generalnom smislu. Te smjernice su varijacije procesa razvoja proizvoda [Slika 1], koji je opći prikaz koje glavne korake ili zadaće treba učiniti prije plasiranja proizvoda na tržište.



Slika 1. Proces razvoja proizvoda [4]

## 2 ISTRAŽIVANJE

Trenutno ne postoji mnogo proizvoda na tržištu koji imaju tražena svojstva. Oni koji su slični često su namijenjeni za vojnu upotrebu i malo je dostupnih podataka o konstrukciji i unutarnjim komponentama. Zbog toga je potrebno pobliže istražiti stanje na tržištu kako bi se postavili temelji za koncipiranje i konstruiranje robota.

### 2.1 Mikrokontroleri

Mikrokontroleri su u zadnjim godinama revolucionarizirali robotiku. Srušila im se cijena, povećale sposobnosti, te su naslijedili niz postojećih alata za razvoj. Glavni uzrok promjeni bi mogao biti bilo koji od ova tri faktora, no sva tri odjednom imali su mnogo veći učinak.

Kako bi se robotu omogućilo upravljanje motorima te sakupljanje informacija o okolišu, potrebno je imati odgovarajući mikrokontroler.

#### 2.1.1 BASIC Stamp

Ovaj je kontroler označio proboj kontrolera u hobi-robotiku. Sa njim je bilo jednostavno složiti računalo koje upravlja robotom, a osim toga je i početniku bilo lako početi programirati. Stamp je imao mogućnost relativno preciznog kontroliranja R/C servo motora pomoću pulseva sa svojih 8 izlazno ulaznih pinova. Ta je mogućnost značila da je moguće modificirati obični R/C servo i napraviti motor sa punih 360 stupnjeva hoda. [5]

BASIC Stamp proizvodi Parallax Inc., a mikroprocesor je MicroChipov „PIC“. PIC je predprogramiran sa BASIC interpreterom koji čita bit-kodirane tokene sa serijskog EEPROMa.

Program se kompajlira na računalu, te se zatim downloada na čip preko paralelnog porta, no korištenjem serijskog protokola.

Stamp ima 8 I/O vodova. Oni se mogu koristiti kao digitalni ulazi i izlazi, a uz pomoć jednostavnog elektroničkog kruga sa kondenzatorima kao pseudo analogni izlazi ili analogni ulazi. Osim toga, svaki se vod može koristiti za serijski prijenos podataka.



Slika 2. BASIC Stamp

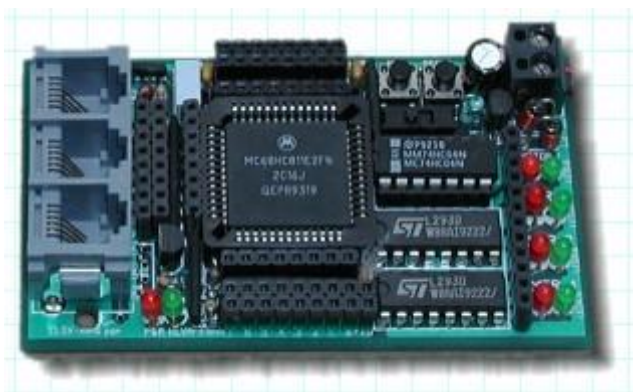
### 2.1.2 Miniboard

Miniboard su napravili Dr. Fred Martin and Randy Sargent na M.I.T.-u. Napravljen je oko Motorola MC68HC11E2 procesora koji ima 2 kilobajta EEPROM-a i 256 bajta rama na čipu. To je dovoljno za pokretanje malog programa sa nekoliko varijabli.

Kao i njegova preteča, tiskana pločica 6.270, Miniboard koristi LM293D bipolarni H-most čip, te ima 4 izlaza za motore. Portovi su napravljeni tako da se mogu koristiti za upravljanje koračnim motorima ukoliko se prespoje kao polu mostovi. Crvene i zelene led diode na desnoj strani pločice obavještavaju o stanju motora.

Osim pogona za motore, dostupno je 8 8-bitnih analogno digitalnih pretvornika, 8 I/O pinova, te 8 pinova koji služe ili za prihvatanje vremena ili kao I/O pinovi opće namjene, a osim toga se može prikopčati zvučnik.

Svestranost i broj I/O pinova čini ovaj kontroler vrlo dobrim, no zbog nedostatka RAM-a, ubrzo se počinju pojavljivati ograničenja. [5]

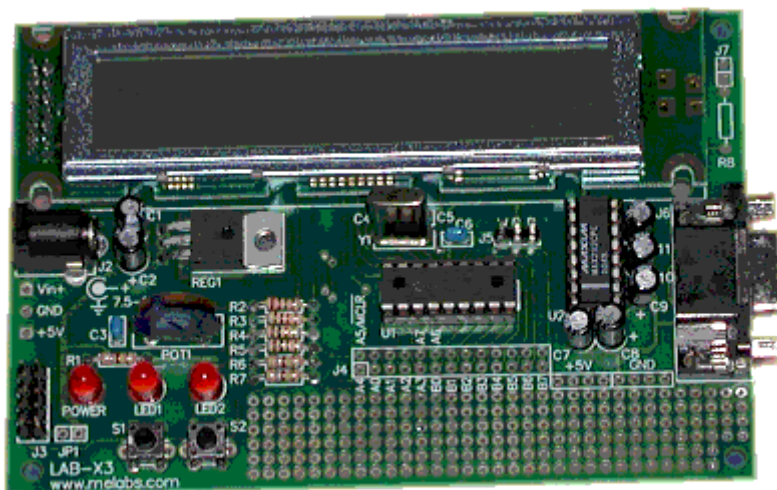


Slika 3. Miniboard

### 2.1.3 LAB-X3

LAB-X3 je pločica koju proizvodi microEngineeringLabs. Napravljen je kako bi demonstrirao mogućnosti različitih procesora. Na njega se može spojiti različite PIC mikrokontrolere (Peripheral Interface Controller) sa 18 pinova. Napravljen je za korištenje sa microEngineering Labs PIC Basic kompajlerom, no može se koristiti i sa drugim programima. LAB-X3 ima LCD sa 2\*20 znakova, serijski port, servo kontroler, dvije ledice i dva gumba. Pokraj PIC-a je pločica izbušena, pa je olakšana izrada prototipova.





Slika 4 LAB-X3

### 2.1.4 Arduino



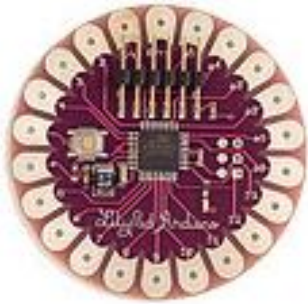
Arduino je elektronička platforma otvorenog koda. Bazira se na hardveru i softveru koji je fleksibilan i jednostavan za korištenje.

Arduino prima informacije iz različitih senzora i na taj način dobiva predodžbu o svojem okruženju. Interakcija sa okolišem omogućena je putem svjetla, motora, te drugih aktuatora. Mikrokontroler se programira putem Arduino programskog jezika koji je baziran na Wiring-u, te uz pomoć Arduino development environment-a, koji je baziran na Processing-u. Projekti napravljeni sa Arduinom mogu biti nezavisni, ili mogu komunicirati sa softverom koji je pokrenut na računalu (npr. Flash, Processing, MaxMSP). [6]

Arduino se proizvodi u više različitih modela koji imaju različite hardverske mogućnosti, a odabir modela ovisi o kompleksnosti projekta za koji se koristi.

Navedene su popularne Arduino izvedbe:

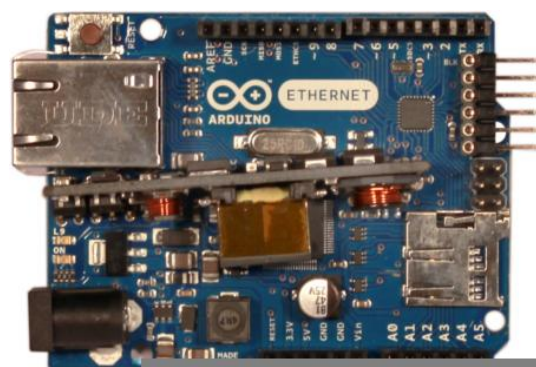
**Tablica 1.      Arduino izvedbe**

	<p><b>Arduino UNO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• najpopularniji Arduino model</li> <li>• ATmega328 čip</li> <li>• 14 digitalnih I/O pinova, od kojih se 6 može koristiti kao PWM (Pulse Width Modulation) izlaz</li> <li>• 6 analognih ulaza</li> <li>• referentni model za Arduino platformu</li> <li>• nazvan po prvoj punoj verziji Arduino softvera koja je izašla s njim</li> <li>• širok raspon primjena</li> </ul>
	<p><b>Arduino Mega 2560</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• najjači arduino model</li> <li>• ATmega 2560 čip</li> <li>• 54 digitalnih I/O pinova, od kojih se 15 može koristiti kao PWM (Pulse Width Modulation) izlaz</li> <li>• 16 analognih ulaza</li> <li>• 256 kB flash memorije</li> </ul>
	<p><b>LilyPad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nošenje, e-tekstil</li> <li>• ATmega168V</li> <li>• mnoštvo dodataka koji se mogu zašiti na odjeću, kao npr. senzori pokreta i ledice</li> </ul>



### Arduino ADK

- mobilna primjena
- USB sučelje za povezivanje sa Android pametnim telefonima
- ostale značajke kao na Mega 2560



### Arduino Ethernet

- računalne mreže
- RJ45 veza
- POE (Power Over Ethernet) modul
- nema USB sučelje
- microSD čitač kartica
- ostale značajke kao na UNO



### Arduino Nano

- male dimenzije
- mini USB
- slične karakteristike kao UNO

Arduino Mega 2560 nameće se kao vrlo dobro rješenje jer iako nema sve komponente kao drugi mikrokontroleri, zahvaljujući jednostavnosti i snazi, predstavlja vrlo jaku platformu sa puno opcija za proširivanje.

## 2.2 Slični projekti

Mnogi inženjeri, majstori i hakeri napravili su različite uređaje koji posjeduju mogućnosti koje će se razmatrati u ovom projektu. Neki od njih su jednostavni i zamišljeni su kao hobi ili zabava, dok su drugi sofisticirani komercijalni proizvodi.

### 2.2.1 *ComputerOnWheels*



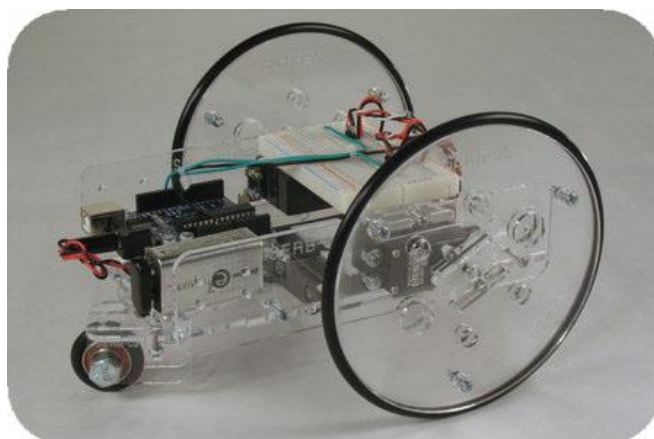
**Slika 5. ComputerOnWheels**

S obzirom da je puno jeftinije kupiti netbook računalo nego kupovati LCD, wifi i bluetooth module, autor ovog robota odlučio je zamijeniti sve te dijelove na svojem robotu sa računalom.

Robot se bazira na Motorduino kontroleru, a to je prilagođena verzija Arduina koja ima integrirana dva H-mosta, što omogućuje kontroliranje dva istosmjerna motora neovisno o ostatku Arduina.

Robot se može autonomno kretati ili se njime može upravljati pomoću drugog računala ili mobitela. Ima instaliran i vizijski sustav, pa je u mogućnosti pratiti određenu boju ili bijelu liniju.

### 2.2.2 *SERB – Arduino controlled servo robot*



**Slika 6. SERB**

SERB je jednostavna robotska platforma. Zamišljena je kao početnički projekt, ali sa mogućnošću nadogradnje. Sastoji se od Arduino Duemillanove pločice na koju su preko breadboarda spojena dva servo motora. Sve elektroničke komponente se spajaju preko breadboarda, pa nije potrebno lemljenje. Šasija je napravljena od ploča pleksiglasa rezanih pomoću lasera.

U zadnje vrijeme na ovu platformu dodano je nekoliko opcionalnih nadogradnji. Tako je moguće spajanje sa laptopom, Nintendom Wii, te dodavanje senzora (ticala).

### 2.2.3 ArduRover



**Slika 7. ArduRover**

Kombiniranjem ArduPilotMega pločice koja se ugrađuje u modele aviona i bespilotne letjelice sa podvozjem modela buggyja dobiven je ArduRover. Opremljen je GPS-om, žiroskopima, akcelerometrima i kompasom. Za komunikaciju koristi klasični daljinski upravljač (direktno upravljanje) ili Xbee radio (autonomni rad).

Pokreće ga istosmjerni motor bez četkica koji je preko adekvatnog kontrolera spojen na 7,2 V bateriju i na ArduPilotMega. Za skretanje se koristi klasični hobi servo motor.

Glavna mogućnost mu je autonomno praćenje puta unaprijed zadanog na karti.



### 2.2.4 CoroBot Classic



**Slika 8. CoroBot Classic**

CoroBot je komercijalna programibilna mobilna robotska platforma. Prodaje se kao UGV (Unmanned Ground Vehicle, bespilotno terensko vozilo), što znači da je potpuno autonoman, te ne koristi ni žice ni radio komunikaciju. Na sebi nosi PC sa kompletnom instalacijom Linuxa ili Windows 7. Zasnovan je na otvorenoj arhitekturi, pa je vrlo jednostavno modificirati ga za vlastite potrebe. Osnovna verzija koristi pogon na dva kotača, 1080p kameru, Atom CPU na 1,6 GHz, te 160 GB hard disk.

U ponudi je i širok izbor dodatne opreme. Mogu se unaprijediti računalne performanse korištenjem Fusion procesora, omogućiti korištenje na neravnoj podlozi korištenjem pogona na 4 kotača, a mogu se i dodati senzori kao što su GPS, akcelerometri, senzori udaljenosti,... Osim toga, bitna dodatna opcija je i robotska ruka sa 4 stupnja slobode koja na sebi nosi 720p kameru

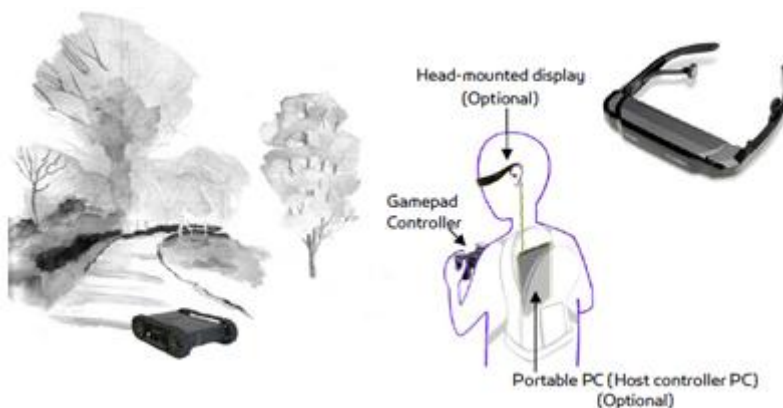
### 2.2.5 Jaguar Lite Tracked Mobile Platform



**Slika 9. Jaguar Lite Tracked Mobile Platform**

Ova platforma zamišljena je za rad na teško savladivom terenu gdje je potrebna veća brzina kretanja (8,5 km/h). Otporan je na vremenske uvjete i vodu. Posjeduje sustav za automatsku navigaciju pomoću ugrađenog GPS prijemnika, žiroskopa, akcelerometra i kompasa. Osim autonomnog načina rada, poveziv je sa drugim računalom pomoću 802.11G standarda, pa ga je moguće ručno kontrolirati pomoću priloženog gamepada, što prikazuje [Slika 10.

Jaguar Lite sustav upravljanja]. Masa mu je manja od 14 kg, dimenzije 640 x 470 x 176 mm, a cijena 7850 \$. Moguća je kupovina nadogradnji u vidu različitih manipulatora.



**Slika 10. Jaguar Lite sustav upravljanja**

### 2.2.6 HD2 SWAT/EOD Tactical Threaded Robot



**Slika 11. HD2 SWAT/EOD Tactical Threaded Robot**

Ovaj robot je među najsofisticiranijim proizvodima ovog tipa. Koriste ga SWAT jedinice (Special Weapons And Tactics, antiterorističke), te EOD jedinice (Explosive Ordnance Disposal, razminiravanje i deaktivacija eksplozivnih sredstava). Napravljen je od rebrastih aluminijskih ploča što mu daje veliku otpornost na nepovoljne utjecaje. Opremljen je rukom sa 5 stupnjeva slobode gibanja, dvostrukim kamerama sa noćnim vidom, te dvosmjernom audio komunikacijom. Za upravljanje se koristi posebni upravljač opremljen sa lcd ekranom, kontrolama za robota i ruku, okidačima za nadograđena oružja, te pojačanim bežičnim odašiljačem. Cijena mu je 33600 \$.





**Slika 12. HD2 SWAT/EOD Tactical Threaded Robot upravljač**

### **2.3 Električni pogoni**

Istosmjerni električni pogoni dominiraju prilikom odabira pogona u robotici, prvenstveno zbog svojih odličnih upravljačkih karakteristika. U ovom poglavlju biti će prikazane i objašnjene vrste istosmjernih električnih motora koji se danas koriste u robotici prilikom izrade manje i srednje složenih projekata. Nadalje biti će prikazani načini i principi upravljanja brzine vrtnje i smjera vrtnje istosmjernih električnih motora, te će biti dani primjeri za pojedini princip.

Korištenje kvalitetnih magnetskih materijala s visokom koncentracijom magnetske energije po jedinici volumena (materijali na bazi rijetkih zemalja, samarij-kobalt ( $\text{SmCo}_5$ ), neodimij-željezo-bor ( $\text{NdFeB}$ ) ...) te smanjenjem cijena i razvojem učinkovitih pretvarača sa sklopkama visoke frekvencije sklapanja (engl. MOSFET, Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor; IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor) rezultiralo je povećanim interesom za primjenu motora s permanentnim magnetima. [7]

Karakteristike istosmjernih motora s permanentnim magnetima koje ih čine podobnima za korištenje u robotici su:

- Pogodni su za upravljanje
- Snage su reda veličine 100 W do 10 kW
- Nominalna brzina vrtnje motora iznosi  $1000 - 3000 \text{ min}^{-1}$
- Nedostatak je u kolektoru, koji određuje vijek trajanja i maksimalnu struju armature u prijelaznom procesu (2– 2.5 puta veća od nominalne vrijednosti)
- Nominalno (maksimalno) ubrzanje motora i radnog mehanizma određeno je omjerom nominalnog (maksimalnog) momenta motora i momenta inercije motora i radnog mehanizma

Od istosmjernih motora s permanentnim magnetima traži se:

- Velik omjer snage i mase motora
- Što veći omjer momenta i momenta inercije (mogućnost velike akceleracije)
- Krivulja momenta bez valovitosti čak i kod vrlo malih brzina vrtnje (posebno kod pozicioniranja)
- Upravljanje momentom kod brzine nula
- Kompaktan dizajn

Najbitnija prednost važna kod projektiranja robotskog sustava koji koristi istosmjerne motore je da je odnos okretnog momenta i brzine linearan tj. motor može pružiti relativno visok okretni moment pri malim brzinama i vrši generatorsko kočenje kada mu se prekine struja.

[Slika 13] prikazuje istosmjerni motor kakav se koristi prilikom izrade projekata manje i srednje složenosti u robotici. Na slici je vidljivo vanjsko kućište, vodovi za napajanje te pogonsko vratilo.



**Slika 13. Istosmjerni motor**

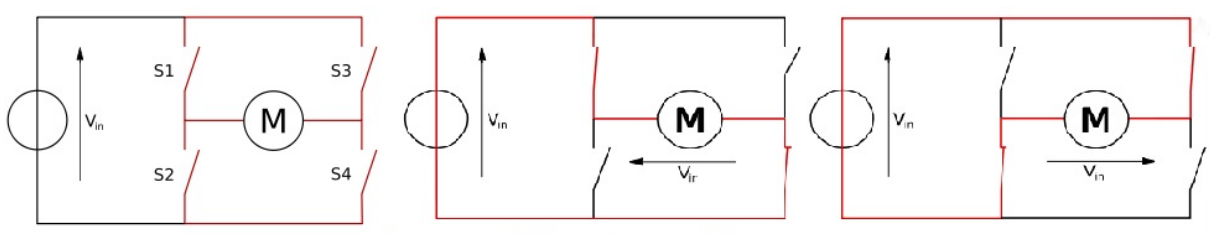
### 2.3.1 Promjena smjera vrtnje istosmjernog motora, H-most

Nedostatak istosmjernih motora je taj što prilikom preopterećenja ili naglom promjenom smjera vrtnje dolazi do induciranja visoke struje koja može oštetiti motor ili upravljački krug motora.

U robotskim sustavima promjene smjera vrtnje su učestala stvar, a kod istosmjernih motora to se postiže promjenom polariteta napajanja. Promjena smjera implementirana je korištenjem releja ili upravljačkog kruga u obliku H-mosta (eng. H-bridge).

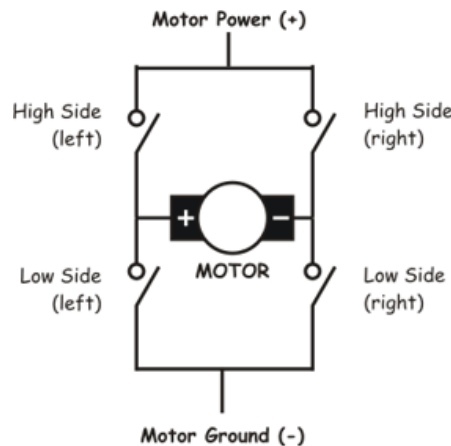
H-most je elektronički sklop koji omogućava kontrolu smjera struje kroz istosmjerni elektromotor. Promjenom smjera struje ili promjenom polariteta napona napajanja istosmjernom motoru mijenja se smjer rotacije njegove osovine. Izvedbe H-mosta mogu biti kao integrirani čip ili sklop s diskretnim tranzistorima, relejima ili običnim prekidačima ako nije potrebna velika brzina promjene. [8]

Rad H-mosta je vrlo jednostavan. [Slika 14] prikazuje shemu rada. Zatvaranjem dijagonalnog para prekidača (npr. S1 i S4), a otvaranjem drugog para, struja teče u jednom smjeru kroz potrošač. Ako su S2 i S3 zatvoreni, a S1 i S4 otvoreni smjer struje se mijenja. Treba voditi veliku pozornost o tome da se spriječi zatvaranje sva četiri prekidača odjednom, ili oba prekidača na jednoj strani H-mosta, jer bi se tako izazvao kratki spoj.



Slika 14. H-most

S1 i S3 se još nazivaju visoki prekidači (eng. High side switch), a S2 i S4 niski prekidači (eng. Low side switch). [Slika 15] prikazuje pozicije visokih i niskih prekidača te njihove nazive.



**Slika 15. Visoka i niska strana H-mosta**

H-most može biti izveden kao:

- H-most od diskretnih poluvodičkih komponenti
- H-most integriran u čip

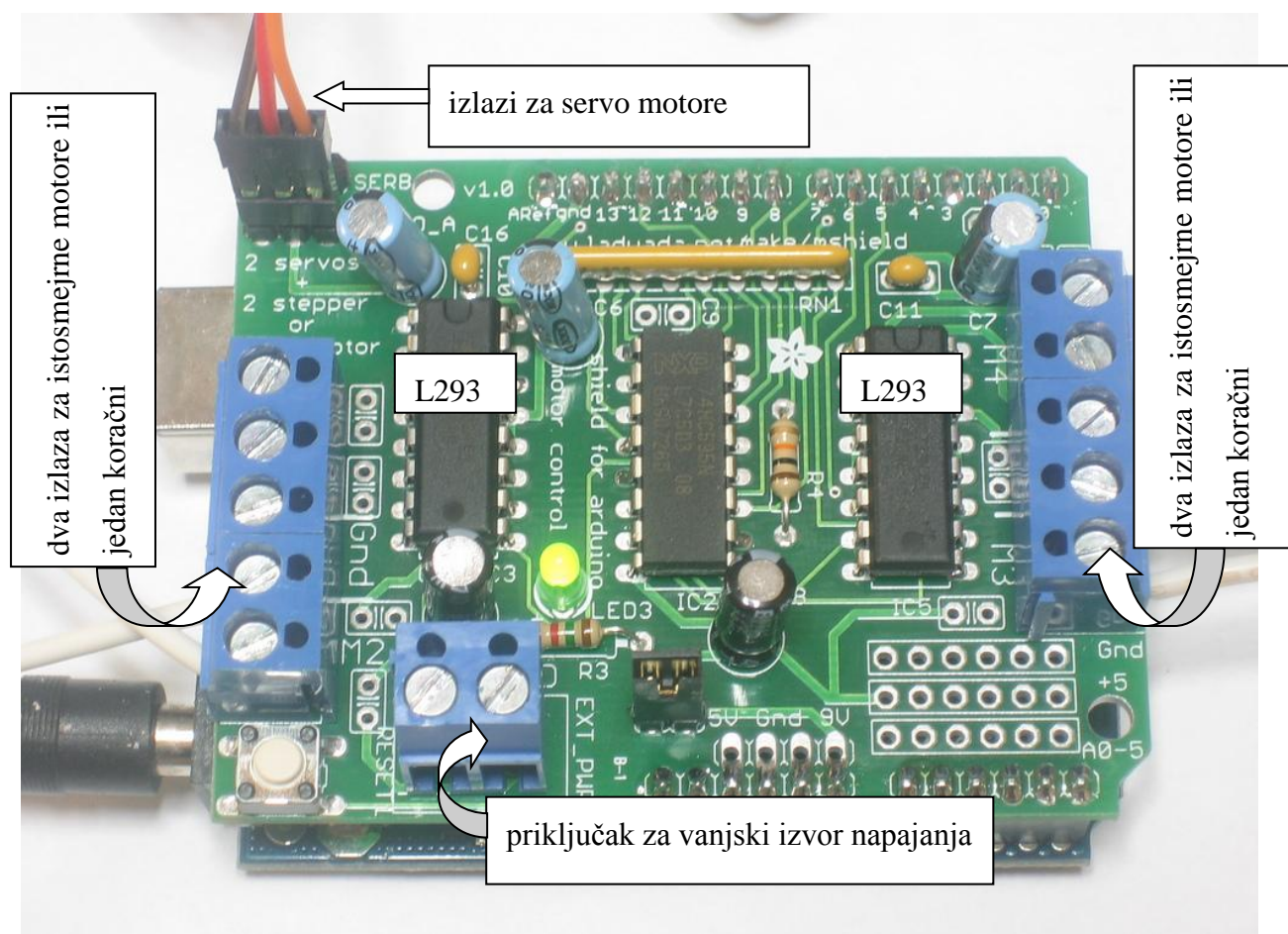
Prednost H-mostova s diskretnim tranzistorima naspram H-mostova integriranih u jedan čip kao što su L293D i SN754410 je ta da kada su pravilno konstruirani mogu podnijeti veće radne struje uz manje troškove dijelova.

H-most izveden integriranim čipom je vrlo kompaktno rješenje. Vrlo se često koristi pri izradi robota manje i srednje veličine. S obzirom na veliku popularnost, postoje gotove implementacije ovakvih čipova kompatibilne s Arduino platformom. Najpopularniji je *Arduino Motor Shield*. Sklop se koristi jednostavnim ukapčanjem na gornju stranu glavne Arduino pločice.

Sklop sadrži:

- Dva izlaza za 5V servo motore
- Četiri izlaza za istosmjerne električne motore
- Dva izlaza za koračne motore (unipolarni ili bipolarni)
- Četiri H mosta: Dva L293 D integrirana sklopa koja su u mogućnosti pružiti izlaze struje od 0.6 A po mostu (1.2 A je maksimalna struja), imaju mogućnost samogašenja uslijed pregrijavanja, te podržavaju radnu voltažu od 4.5 V do 36 V)
- Priključke za vanjski izvor el. struje (baterije) za motore

[Slika 16] prikazuje razmještaj ranije navedenih izlaza i priključaka na pločici.






**Slika 16. Arduino Motor Shield**

Iako je ovakva izvedba sklopa za upravljanje motorima vrlo kompaktna i jednostavna, kod jačih motora čipovi ne mogu podnijeti veliku struju. Za ovaj rad ovakva pločica nije adekvatna, te se moraju razmotriti druge opcije upravljanja motorima.

Kako je ranije navedeno jedan od faktora kod odabira prikladnog tranzistora za H most je disipacija topline tranzistora, tj. koliko topline tranzistor može odvoditi, a da se silicij unutar tranzistora ne rastali. S obzirom na mogućnost odvođenja topline tranzistore možemo podijeliti u tri skupine: niske, srednje i visoke snage.

[Tablica 2] daje primjer svake skupine tranzistora:

**Tablica 2. Podjela tranzistora po mogućnosti odvođenja topline**

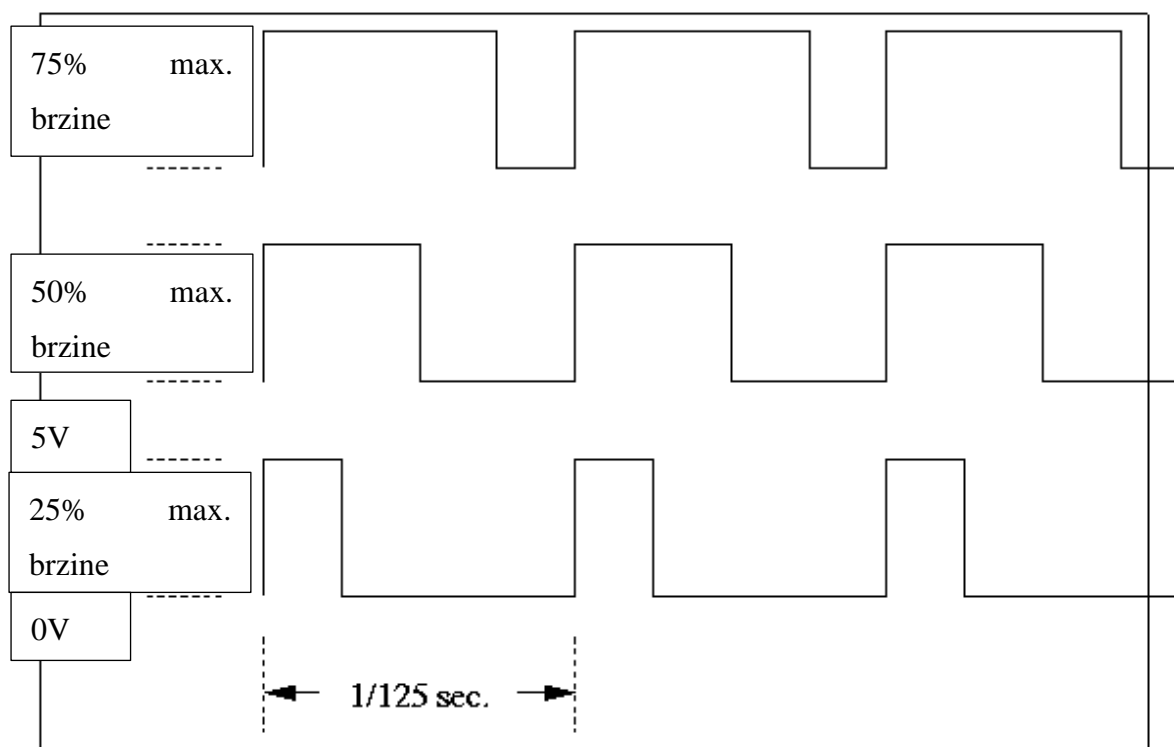
Mogućnost odvođenja topline	Tip pakiranja	Slika	Opis
Niska	TO-92		TO-92 serija tranzistora može odvesti 200mW topline bez dodatnog hladnjaka. Može imati metalno ili plastično kućište i relativno je malih dimenzija pa ne zauzima puno prostora na pločici.
Srednja	TO-220		TO-220 je dobar kompromis cijene i mogućnosti. S hladnjakom odvodi 4-5W topline. Prikladno dizajniran kako bi se lakše na njega mogao staviti hladnjak.
Visoka	TO-3		TO-3 bez hladnjaka može odvesti do 3W topline, također prigladno dizajniran za stavljanje hladnjaka ali je velikih dimenzija.

Iz navedenog je zaključeno da je najbolja opcija korištenje h-mosta integriranog u čip, no umjesto korištenja *Dual in-line* forme, potrebno je korištenje oblika koji omogućava odvođenje više topline, na primjer TO-220.

### 2.3.2 Regulacija brzine vrtnje istosmjernog motora

Upravljanje se vrši preko PWM signala (eng. Pulse-width modulation). Mikrokontroler generira odgovarajući PWM signal te tako diže ili spušta brzinu vrtnje istosmjernog motora.

Kada bi motor bio spojen direktno na izvor napajanja ubrzavao bi neko vrijeme, te bi se nakon toga nastavio okretati nekom maksimalnom brzinom. Upravljanjem preko PWM-a brzina vrtnje reducira se na određeni postotak. Postavlja se sklopka između izvora napajanja i motora, te velikom brzinom se otvara i zatvara. Tim otvaranjem i zatvaranjem, tj. dužinom takta definira se reducirana brzina okretanja. [9]



**Slika 17. PWM regulacija brzine**

[Slika 17] prikazuje koncept PWM upravljanja, vidljivo je da kako bi se postigla željena brzina okretanja motora (25%, 50% i 75%) dužina takta mora biti određenog iznosa. Raspon frekvencija koji se može koristiti za upravljanje PWM signalom ovisi o mikrokontroleru, kontroleru motora, ovisno o standardima koje podržavaju.

## 2.4 Gusjenični pogon




Gusjenice su oblik pogona vozila u kojem se kontinuirani pojas pogoni pomoću posebnih kotača. Taj pojas najčešće je napravljen od modularnih čeličnih ploča kod vojnih, ili od gume ojačane čeličnim sajlama kod lakših poljoprivrednih i građevinskih vozila. Velika površina gusjenica raspodjeljuje masu vozila puno bolje nego čelični kotači ili gume na ekvivalentnom vozilu. Zbog toga vozila na gusjenični pogon mogu lako prelaziti teren na kojem bi inače postojala mogućnost upadanja u blato ili proklizivanja. Ovaj oblik pogona prvi put je zamislio



Richard Lovell Edgeworth 1770. godine. Tek su se krajem 19. stoljeća pojavili prvi komercijalno uspješni proizvodi sa gusjeničnim pogonom, primarno parni traktori. Danas se gusjenični pogon koristi na raznim vozilima, u rasponu od dječje igračke, pa do najvećeg kopnenog vozila na svijetu, Krupp Bagger 288, 45000 tonskog rovokopača.

Postoji mnogo različitih vrsta gusjenica, [Tablica 3] daje pregled:

**Tablica 3. Tipovi gusjenica**

	<p><b>Čelik</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• teška vozila za najteže uvjete</li> <li>• tenkovi, buldožeri</li> <li>• rade veliku štetu ako se okreću na cesti</li> </ul>
	<p><b>Čelik sa gumenim umetcima</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• teška vozila za nepovoljne uvjete koja moraju voziti i po cesti</li> </ul>
	<p><b>Guma sa čeličnim ojačanjima i čeličnim umetcima</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vozila za vožnju po ledu i snijegu</li> <li>• motorne sanjke, manje ralice</li> </ul>



	<p><b>Guma sa čeličnim ojačanjima</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mali rovokopači</li> <li>• idealno za radove na cesti i u gradu</li> </ul>
	<p><b>Guma ojačana najlonom</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• taktički roboti i mala vozila</li> <li>• mala masa</li> <li>• niska cijena</li> <li>• dobar kontakt s podlogom</li> <li>• moguće korištenje standardne transportne trake</li> </ul>
	<p><b>Plastika</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• makete</li> <li>• plastični lanac koji se inače koristi na konvejerima</li> <li>• niska cijena</li> <li>• loš kontakt s podlogom</li> </ul>

Uzimajući u obzir prednosti i nedostatke, te područja primjene svakog pojedinog tipa gusjenice, zaključeno je da je guma sa najlonskim ojačanjima optimalan izbor za ovaj rad.

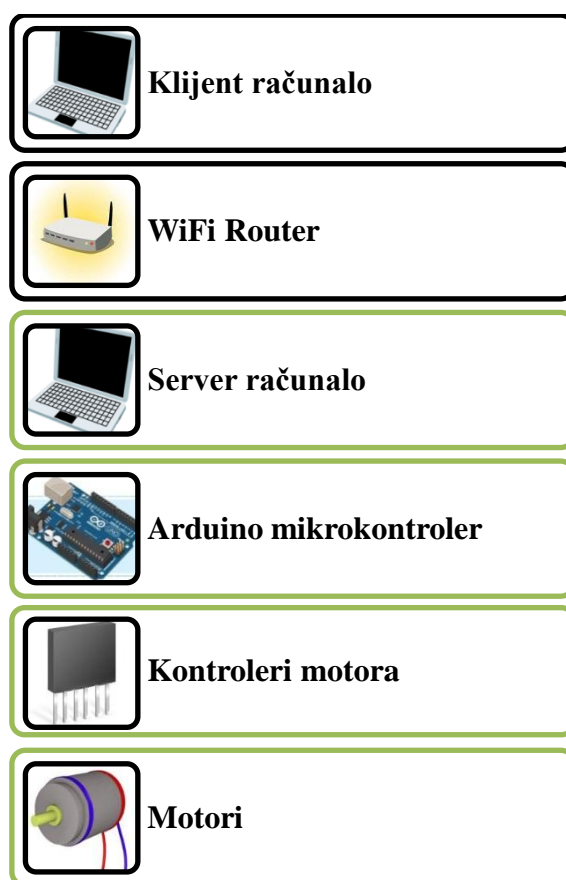
### 3 KONCEPT

Koncept se izrađuje kako bi se definirale buduće aktivnosti, te kako bi se evaluacijom koncepta utvrdilo koje su ideje najbolje. Koncipiranje je kreativna aktivnost sa izrazito interdisciplinarnim pristupom. Moraju se uzeti u obzir svi dijelovi robota, te se kombinirati na određen način kako bi se dobila smislena i efikasna cjelina. Tu je potrebno naći kompromise unutar pojedinih cjelina, ali i između njih.

#### 3.1 Informacijski model

Kako bi se dobio robot koji može ispunjavati zadatke koji mu se zadaju, potrebno je prvo definirati infrastrukturu koja mu je potrebna. Osim toga, mora se definirati koji element komunicira sa kojim, te na koji način. [Tablica 4] prikazuje model koji omogućava svu potrebnu funkcionalnost. Svaki dio sustava predaje informaciju onom navedenom ispod njega. Prva dva dijela nalaze se izvan robota, a ostali unutar.

**Tablica 4.      Informacijski model**



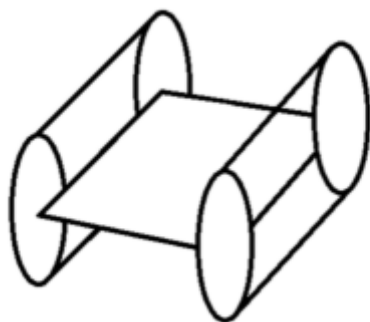
Server računalo je centralna komponenta ovog sustava. Na njemu se izvršava program koji osluškuje za naredbe na bežičnoj mreži. U slučaju dobivene naredbe, izvršava se odgovarajuća akcija. U ovisnosti o tome što i kako treba napraviti, radi se nova naredba koja se šalje u Arduino mikrokontroler. Arduino mikrokontroler opremljen je sa PWM (pulse width modulation) izlazima, koji kontrolerima motora omogućuju pogonjenje motora odgovarajućom brzinom.

Prednost ovakvog pristupa je velika fleksibilnost sustava. Navedene su neke opcije:

- Klijent računalo može biti laptop, mobitel ili tablet.
- Na njemu se naredbe robotu mogu zadavati ručno, ili je moguće korištenje programa koji upravlja robotom. Takav program može biti vrlo zahtjevan što se tiče performansi računala, a bez da se robot opterećuje jakim računalom i dodatnim baterijama.
- Na klijent računalo je moguće dodavati senzore koji promatraju okolinu robota, primjerice USB kameru koja šalje sliku upravljačkom programu.
- Umjesto WiFi routera moguće je korištenje 3G podatkovne mreže.
- Server računalo može biti laptop, netbook ili single-board računalo.
- Na server računalo je moguće dodati USB kamere ili drugu periferiju
- Arduino mikrokontroler ima velik broj digitalnih i analognih ulaza i izlaza što znači da je jednostavna ugradnja i proširivanje robota dodatnim senzorima, motorima ili manipulatorima

### 3.2 Struktura

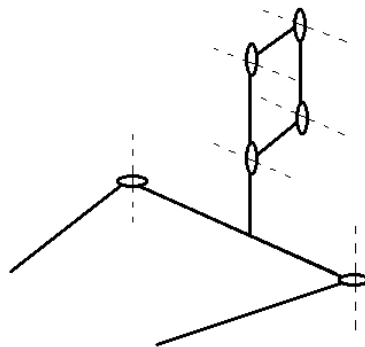
Robot mora biti sposoban za rad na neravnom terenu, te biti u stanju raditi u slučaju prevrtanja. Rad na neravnom terenu omogućavaju gusjenice i dovoljna udaljenost od tla. Kako prevrtanje ne bi utjecalo na sposobnost za rad, potrebno je uvijek održavati kontakt obje gusjenice na terenu. To se može postići konstruiranjem posebnog sustava koji se aktivira u slučaju prevrtanja i vraća robota na pravu stranu, ili postavljanjem većih kotača (ili tankog tijela), tako da gusjenice mogu funkcionirati bez obzira na položaj robota. Iako kod većih robota koji na svojoj gornjoj strani nose puno dodatne opreme dodavanje sustava za prevrtanje ostaje kao jedina opcija, ovdje je jednostavnija varijanta ujedno i bolja. S obzirom da robot mora sadržavati mali broj unutrašnjih komponenata, tijelo robota je tanko samo po sebi. Najdeblja komponenta u robotu je računalo koje ima samo 38 mm. To omogućava konstruiranje tankog tijela koje je simetrično u odnosu na ravninu u kojoj leže osi kotača.



**Slika 18.** Skica optimalne strukture robota

### 3.3 Oblik prihvatnice

Kako bi se robotu omogućila interakcija sa okolinom, potrebno je osmisliti neku vrstu manipulatora. Koristi se modularni princip spajanja sa tijelom robota kako bi se omogućilo korištenje drugih manipulatora umjesto prihvatnice. Traži se jednostavna konstrukcija sa malim brojem pomičnih elemenata. Opći oblik prihvatnice mora se dobiti kombiniranjem kliznih i/ili rotacijskih elemenata. Nakon evaluacije više mogućih rješenja, odabran je oblik koji koristi samo rotacijske elemente i dva servo motora, jedan za primanje predmeta i jedan za podizanje.



Slika 19. Skica optimalnog oblika prihvatnice

### 3.4 Kinematički model

Dinamički modeli vozila na gusjenični pogon su se pokazali korisnima za kontrolu i simulaciju, no previše su kompleksni za navigaciju robota u stvarnom vremenu. [1] U ovom dijelu biti će navedene geometrijske veze koje se mogu koristiti za kontrolu robota pomoću upravljanja brzinom gusjenica.

Referentni koordinatni sustav robota centrirana se u sredini površine definirane sa obje gusjenice, gdje  $y$  os ide uzduž vozila, a  $x$  os poprijeko. Kao i kod diferencijalnog pogona na 4 kotača, vozilo sa gusjenicama upravljano je sa dvije varijable. To su brzina lijeve i brzina desne gusjenice ( $v_l, v_d$ ). Direktni kinematički model glasi:

$$(v_x, v_y, \omega_z) = f_d(v_l, v_d)$$

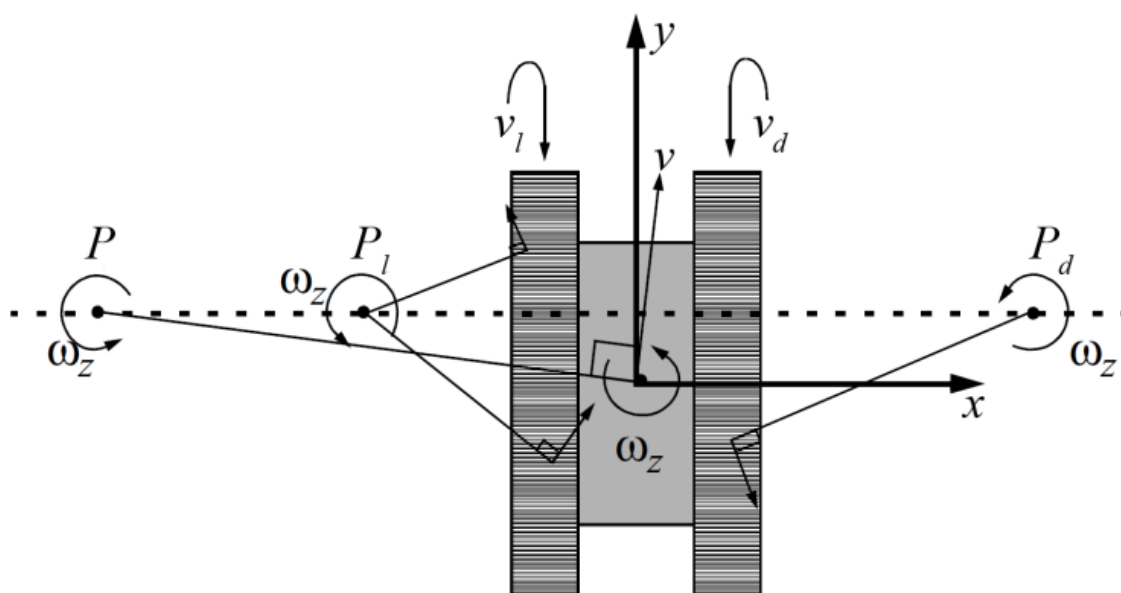
Gdje su  $v_x$  i  $v_y$  brzine robota s obzirom na referentni sustav, a  $\omega_z$  je kutna brzina oko  $z$  osi. Pronalaženje brzina gusjenica koje će uzrokovati željeno gibanje dano je inverznim kinematičkim modelom:

$$(v_l, v_d) = f_i(v_x, v_y, \omega_z)$$

Za gibanje u ravnini, trenutni pol brzine robota  $P$  je ona točka u ravnini u kojoj se gibanje vozila može opisati rotacijom, a translacije nema. Pritom se robot smatra krutim tijelom.

Osim gibanja cijelog robota, zbog proklizivanja gusjenica, mora se uzeti u obzir i njihovo gibanje u dodirnoj površini sa terenom. Kutna brzina gusjenica jednaka je kutnoj brzini cijelog robota jer su one fizički spojene na tijelo i ne mogu rotirati odvojeno s obzirom na  $z$  os.

Gusjenica se može modelirati kao kruto tijelo sa jednim dodatnim stupnjem slobode gibanja, brzinom kotrljanja. Gibanje točaka na gusjenici je dakle zbroj gibanja robota i kotrljanja gusjenice. Zbog toga se  $P$  gusjenice razlikuje u odnosu na  $P$  robota. Kennedy-Arnholdov teorem glasi: *Tri trenutna pola brzina za tri kruta tijela koja se relativno gibaju (bez obzira da li su međusobno povezana kinematičkim vezama), leže na jednom pravcu.* [10]



Slika 20. Trenutni polovi brzina

Koordinate točke  $P$  u lokalnom koordinatnom sustavu robota i koordinate trenutnih polova brzina lijeve i desne gusjenice  $P_l$  i  $P_d$  mogu se geometrijski dobiti iz sljedećih jednažbi:

$$\begin{aligned}x_P &= -\frac{v_y}{\omega_z} \\y_P &= y_{P_l} = y_{P_d} = \frac{v_x}{\omega_z} \\x_{P_l} &= \frac{v_l - v_y}{\omega_z} \\x_{P_d} &= \frac{v_d - v_y}{\omega_z}\end{aligned}$$

gdje je  $v=(v_x, v_y)$  brzina translacije robota.

Ovisno o zakrivljenosti putanje,  $x$  koordinata točke  $P$  nalazi se u rasponu  $\pm\infty$ , a  $x$  koordinate točaka  $P_l$  i  $P_d$  imaju konačnu vrijednost ovisno o brzini kretanja robota.

Računanjem inverznih funkcija, dobiva se direktni kinematički model:

$$\begin{aligned}v_x &= \frac{v_d - v_l}{x_{P_d} - x_{P_l}} y_P \\v_y &= \frac{v_d + v_l}{2} - \frac{v_d - v_l}{x_{P_d} - x_{P_l}} \cdot \frac{x_{P_d} + x_{P_l}}{2} \\\omega_z &= \frac{v_d - v_l}{x_{P_d} - x_{P_l}}\end{aligned}$$

Može se uočiti da kako bi se dobile brzina i brzina rotacije robota, potrebno je poznavanje vrijednosti  $x_{P_l}$  i  $x_{P_d}$ . Te vrijednosti nije moguće unaprijed znati, što nekad predstavlja problem u kontroli mobilnih robota na gusjenični pogon.

Inverzni kinematički model glasi:

$$\begin{aligned}v_l &= \sqrt{\|v\|^2 - y_P^2 \omega_z^2} + x_{P_l} \cdot \omega_z \\v_d &= \sqrt{\|v\|^2 - y_P^2 \omega_z^2} + x_{P_d} \cdot \omega_z\end{aligned}$$

Model sadrži neholonomni uvjet,  $v_x$  i  $v_y$  se ne mogu zadati odvojeno.

Položaji točaka  $P_l$  i  $P_d$  ovise o više faktora. Velik utjecaj na njihov položaj ima raspored mase u robotu. Ukoliko je centar mase robota bliže jednoj gusjenici, ona će manje proklizivati, te će njezin pol brzine biti bliže. Ukoliko je centar mase bliže prednjem ili stražnjem kraju, opet će doći do neravnomjerne raspodjele pritiska, te se oba pola brzine približavaju sredini robota.

## 4 INFORMACIJSKI SUSTAV

Autonomno ili polu-autonomno izvršavanje zadataka je značajka koja robote razdvaja od ostalih strojeva. Kako bi se robotu omogućilo da naredbe koje dobije od čovjeka pretoči u stvarne pokrete, ili da samostalno odradi neki posao, potrebno ga je opremiti odgovarajućim informatičkim alatima. U poglavlju [3.1 Informacijski model] navedene su hardverske komponente sustava koje robot mora posjedovati. Taj hardver mora imati instalirane programe koji mogu zajedničkim djelovanjem stvoriti kontakt između komponenata, te time i između korisnika i robota.

### 4.1 Klijent računalo

Klijent računalo je bilo koji uređaj koji je opremljen preglednikom interneta. To može biti osobno računalo, netbook, tablet ili mobitel. Robotom se upravlja preko web stranice koja na sebi ima kontrole robota. Pritiskom na odgovarajući gumb, server računalu koje se nalazi u robotu šalje se html zahtjev u obliku `/request?command=F&param1=100`. Command je naredba, u ovom slučaju F, što označava kretanje naprijed, a param1 je parametar koliko dugo se robot treba kretati, u milisekundama. Korištenje web stranice nije nužno, jer bilo koji program na klijent računalu može emulirati ovakav zahtjev, što omogućava korištenje različitog softvera. Na taj način moguće je spajanje robota sa vizijskim sustavom ili nekim drugim načinom autonomnog upravljanja.



IP Adresa:

Port:

PRIHVATNICA	NAPRIJED	PODIZANJE
LIJEVO	Vrijeme <input type="text" value="5"/> Stupanj <input type="text" value="5"/>	DESNO
NATRAG		
Namjesti Brzinu	Namjesti Lijevu	Namjesti Desnu

**Slika 21. Upravljačka stranica**

Kompletni kod upravljačke stranice dan je u prilogu.

## 4.2 Server računalo

Server računalo je Asus EEE netbook računalo koje je odabrano zbog malih dimenzija, niske cijene i male mase. Koristi se 4 GB solid state drive, te Celeron M procesor kojem je radna frekvencija smanjena na 630 MHz, zbog uštede energije i manjeg grijanja. Netbook je opremljen integriranom WLAN karticom, što mu omogućuje komunikaciju sa klijent računalom, te USB portovima koji omogućuju spajanje i napajanje Arduina.

Na računalu je prilikom rada stalno pokrenut jednostavan server program [11] koji na portu 12345 sluša za html zahtjeve. Zahtjevi dolaze sa klijent računala i automatski se u odgovarajućem obliku šalju na Arduino. U slučaju nevaljanog zahtjeva, javlja se greška.

### 4.3 Arduino

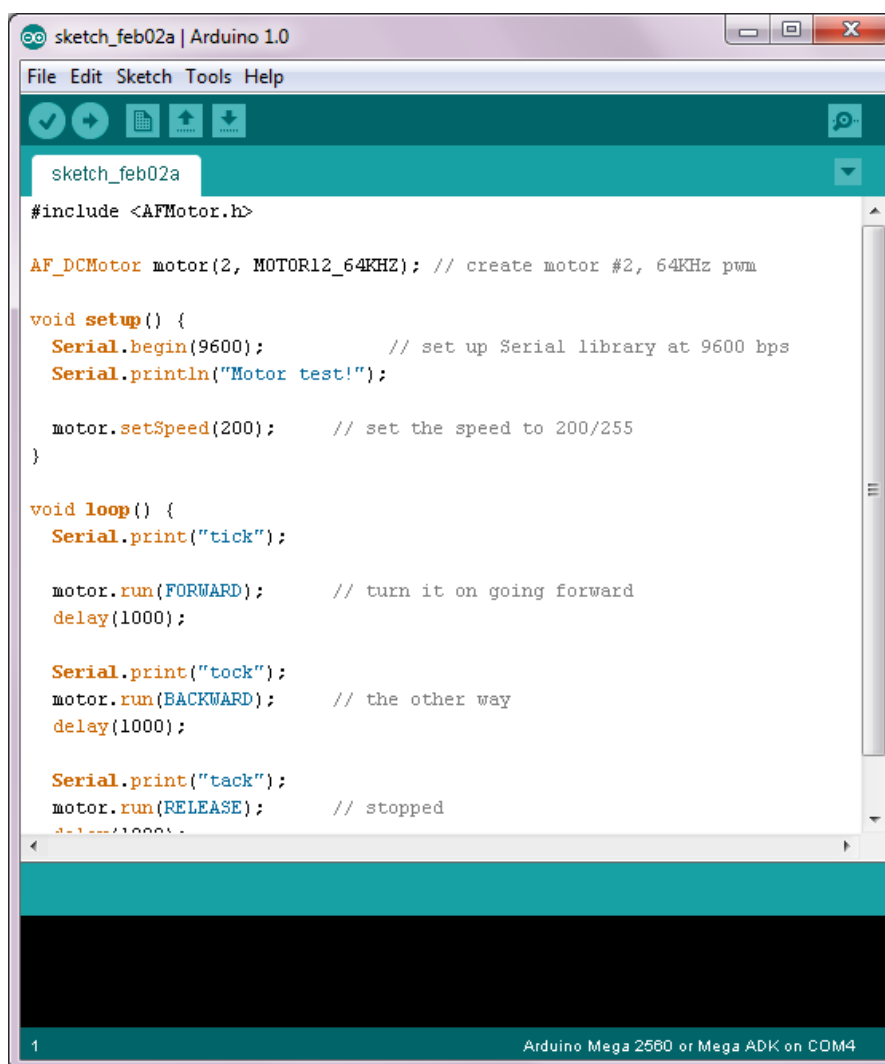
Arduino mikrokontroler je komponenta koja spaja informacijski sustav sa energetske sustavom. Od server računala dobiva naredbu koji pokret treba izvesti i uz koje parametre, te ju prevodi u signal koji se šalje u kontroler motora.

U slučaju nadogradnje robota dodatnim senzorima, Arduino može služiti za sakupljanje podataka o okolini robota, te njihovo prosljeđivanje server računalu.

Ranije je navedeno da je Arduino Mega 2560 vrlo dobro rješenje za upravljanje ovakvim robotom. To je mikrokontroler pločica bazirana na ATmega2560 čipu. Ima 54 digitalnih I/O pinova, od kojih se 14 može koristiti kao PWM (Pulse Width Modulation), 16 analognih ulaza, 4 UART-a (universal asynchronous receiver/transmitter, hardverski serijski portovi), 16 MHz kristalni oscilator, USB sučelje, utikač za napajanje, ICSP (In-circuit serial programming) zaglavlje, te reset gumb.

#### 4.3.1 *Arduino Development Environment*

Kako bi mikrokontroler obavljao svoju funkciju, na njega je postavljen odgovarajući program. Program se piše u razvojnom okruženju za programiranje, Arduino Development Environment-u. ADE je razvojno okruženje koje se koristi za programiranje Arduina. Tu su uključeni priređivač teksta za pisanje koda, područje za poruke, tekstualna konzola, traka sa tipkama za uobičajene funkcije, te nekoliko izbornika. Spaja se sa Arduino hardverom kako bi se preneli programi i kako bi se komuniciralo sa njim. Softver koji se napiše pomoću Arduino okruženja zove se sketch (skica). Te se skice pišu u priređivaču teksta. Skice se spremaju sa ekstenzijom .ino. Priređivač ima opcije za cut/paste, te za pretraživanje i zamjenu teksta. Područje za poruke daje povratne informacije prilikom spremanja i izvoza, a osim toga tamo se prikazuju pogreške u kodu. Konzola prikazuje tekstualni ispis Arduino okružja, uključujući i potpune izvještaje o pogreškama, te ostale informacije. Donji desni kut sučelja prikazuje trenutno spojenu karticu te odabrani serijski port. [6]



**Slika 22.      Arduino Development Environment**

Okruženje omogućava jednostavno korištenje programskih biblioteka (library), korištenjem naredbe `#include`. To je vrlo korisno kod korištenja dijelova koje proizvode drugi proizvođači, jer onda oni mogu napisati library za svoj dio. Uz početnu instalaciju već dolazi desetak libraryja koje omogućavaju korištenje ethernet, stepera, servoa, potencijometara i drugih osnovnih komponenata.

Moguće je i definiranje vlastitih pločica koje su bazirane na Arduino. To se dobiva postavljanjem novog „hardware“ direktorija u koji se onda ubacuju definicije pločice, bootloader, te osnovne programske biblioteke.

Okruženje podržava sve modele Arduina koji su do sada izašli na tržištu.

### 4.3.2 Program

Program za robota temelji se na WEBB softveru otvorenog koda. WEBB pogoni Arduino Controlled Web Connected Robot varijantu SERB robota, a napisan je u britanskoj tvrtci Oomlout [12]. Za generiranje PWM signala koristi se Servo.h library.

Program sa server računala dobiva podatke preko USB veze, pomoću emuliranog serijskog porta. Svaka poruka koja dolazi do programa sastoji se od pet bajtova:

- BajtProvjere1
- BajtProvjere2
- BajtProvjere3
- NAREDBA
- PARAMETAR

Bajtovi provjere služe kao zaštita od šuma, smetnji ili loših naredbi sa server računala. Bajtovi provjere su tri slova A, ili u ASCII kodu 65,65,65. Poruke se obrađuju i motorima se šalju naredbe sa opisanim gibanjem koje moraju napraviti.

Programski kod je u cijelosti postavljen kao prilog.

## 5 ENERGETSKI SUSTAV

Energetski sustav se sastoji od motora, baterija koje snabdijevaju motore sa energijom, te od elektronike koja povezuje motore i baterije.

U tom sustavu energija prolazi kroz promjene oblika. Baterije sadržavaju pohranjenu kemijsku energiju, a potrebno ju je pretvoriti u kintičku energiju koja omogućava robotu da mijenja položaj.

### 5.1 Pogonski motori

Stvarna opterećenja pod kojima će motori raditi ne mogu se u potpunosti predvidjeti. Zato se odabiru odgovarajućih motora pristupa tako da se uzimaju motori koji su se pokazali dobri u sličnoj primjeni, a zatim se ocjenjuju njihova svojstva koja se očekuju nakon ugradnje u robota. Ukoliko su zadovoljavajući, motori se prihvaćaju, a ukoliko nisu, traže se drugi.

Uzima se primjer terenskih robota tvrtke SuperDroid Robots.



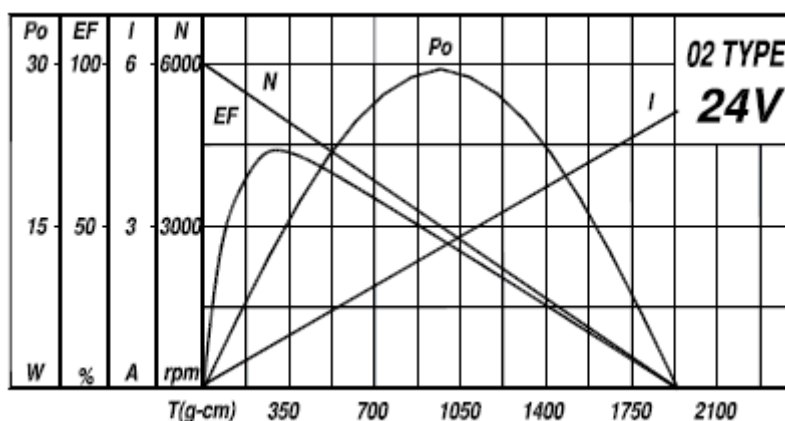
**Slika 23. SuperDroid Robots ATR**

Ovi roboti imaju sljedeće karakteristike:

- Motori: IG32P, 4 kom
- Nosivost: 9 kg
- Kotači:  $r=86$  mm

Karakteristike IG32P motora:

- Tip motora: Istosmjerni sa četkicama
- Prijenosni omjer: 1:27
- Nazivna brzina:  $190 \cdot \text{min}^{-1}$
- Okretni moment pri nazivnoj brzini:  $4,5 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \approx 0,44 \text{ Nm}$
- Zaustavni okretni moment:  $35 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \approx 3,43 \text{ Nm}$
- Brzina bez opterećenja:  $223 \cdot \text{min}^{-1}$
- Radni napon: 24 V
- Struja bez opterećenja:  $<450 \text{ mA}$
- Struja pod opterećenjem pri 12 V:  $\leq 1600 \text{ mA}$
- Struja pod opterećenjem pri 24 V:  $\leq 750 \text{ mA}$



Slika 24. Karakteristike IG32P elektromotora

Ovi motori su opremljeni sa reduktorom sa čeličnim zupčanicima. Na stražnjoj strani nalazi se hall efekt senzor koji se koristi za određivanje brzine motora.

Provjeravaju se performanse robota sa različitim vanjskim promjerima gusjenica:

Za  $r_v = 100 \text{ mm}$  :

Brzina kretanja pri nazivnom broju okretaja:

$$v = 2 \cdot r \cdot \pi \cdot n$$

$$v = 2 \cdot 100 \cdot \pi \cdot 190$$

$$v = 119400 \text{ mm/min}$$

$$v = 7,163 \text{ km/h}$$

Obodna sila pri  $v = 0$ :

$$F_o = \frac{M}{r}$$

$$F_o = \frac{3,43}{0,1}$$

$$F_o = 34,3 \text{ N}$$

Ukupna sila na podlogu od dvije gusjenice je dakle 68,6 N.

Za  $r_v = 75 \text{ mm}$  :

Brzina kretanja pri nazivnom broju okretaja:

$$v = 2 \cdot r \cdot \pi \cdot n$$

$$v = 2 \cdot 75 \cdot \pi \cdot 190$$

$$v = 89540 \text{ mm/min}$$

$$v = 5,37 \text{ km/h}$$

Obodna sila pri  $v = 0$ :

$$F_o = \frac{M}{r}$$

$$F_o = \frac{3,43}{0,075}$$

$$F_o = 45,7 \text{ N}$$

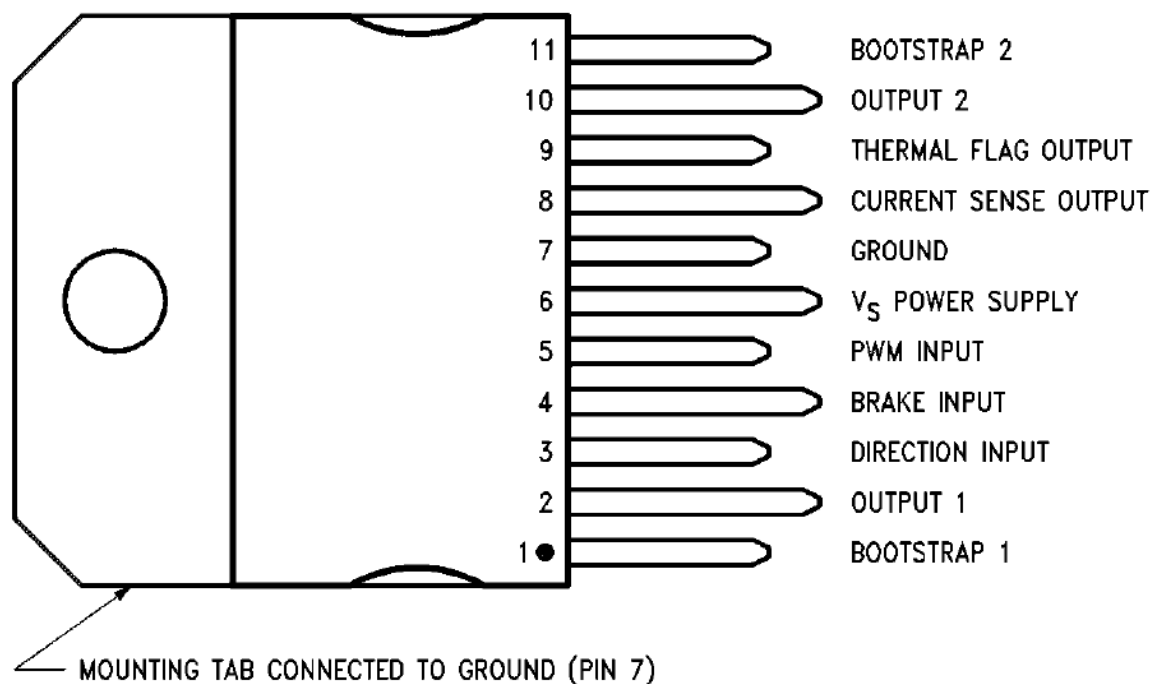
Ukupna sila na podlogu od dvije gusjenice je dakle 91,5 N.

Iz tih podataka može se zaključiti da su karakteristike robota uz odabir navedenih motora i više nego zadovoljavajuće.

### 5.1.1 Upravljanje pogonskim motorima

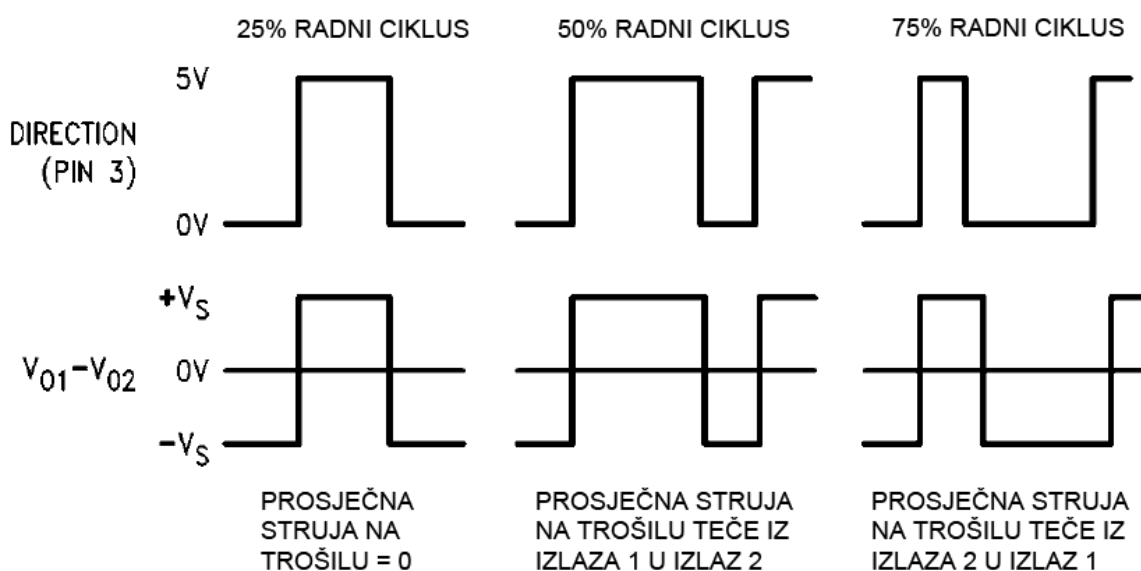
Ranije je navedeno da je za upravljanje pogonskim motorima za ovu veličinu robota optimalno korištenje H-mosta integriranog u čip, te pakiranog u kućište koje može odvesti dovoljno topline, kao na primjer TO-220. Sada kada su poznate specifikacije motora, mogu se odabrati odgovarajući kontroleri.

LMD18200 je H-most koji zadovoljava te uvjete uz određenu sigurnost. Napravljen je za struje do 3 A, a može podnijeti vršna opterećenja do 6 A. Radni napon mu je od 12 do 55 V. Ima ugrađen senzor temperature te prvo javlja upozorenje, a zatim se i gasi u slučaju pregrijavanja.



Slika 25. LMD18200 kontroler motora

Ovaj kontroler omogućava upravljanje pomoću *sign/magnitude* PWM signala, gdje se odvojeno zadaju smjer i brzina, ili *locked anti-phase* PWM signala (koji standardno koristi Arduino), gdje se u jednom PWM signalu nalaze informacije i o brzini i o smjeru. Kod korištenja druge opcije PWM signal se dovodi na *direction* (smjer) pin, dok se PWM pin drži pod naponom. [13]

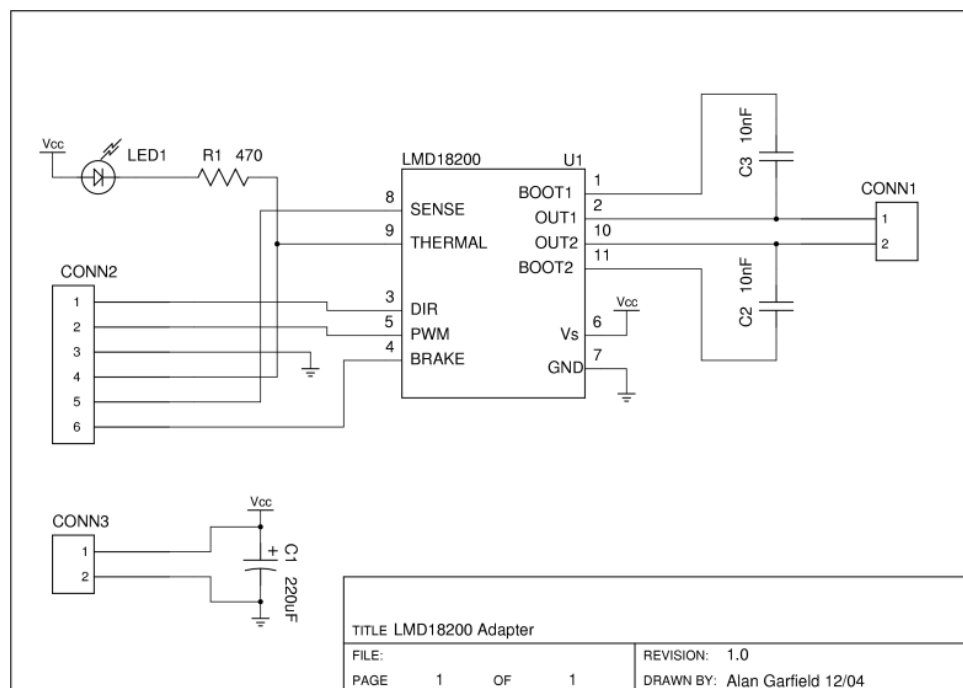


Slika 26. Signal na LMD18200 kontroleru motora

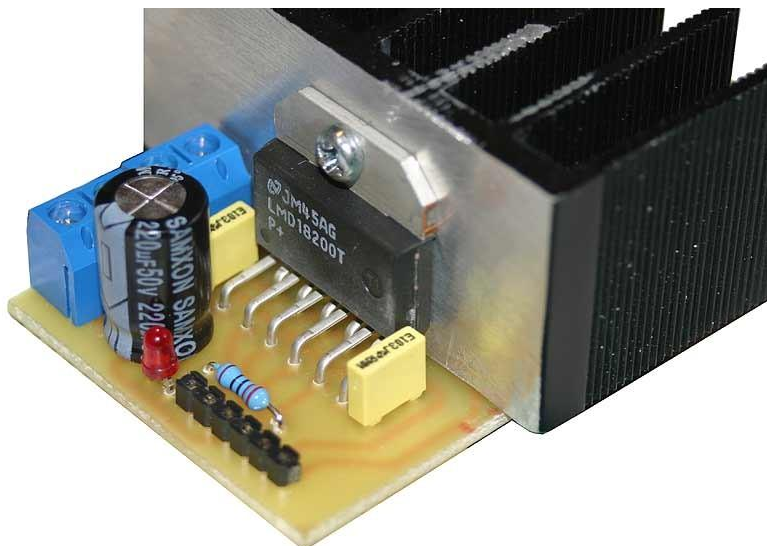


Kako bi se kontroler spojio sa motorima i Arduinoom, potrebno je izraditi odgovarajuću tiskanu pločicu i na nju postaviti dodatne elektroničke komponente koje kontroler zahtijeva.

S obzirom na to da je LMD18200 vrlo popularan čip u robotici, postoji nekoliko slobodno dostupnih standardnih tiskanih pločica. Koristi se tiskana pločica [14] koja je prilagođena korištenju na prototipovima.



**Slika 27. Elektronička shema adaptera za LMD18200**



**Slika 28. Adapter za LMD18200 sa hladnjakom**

### 5.1.2 Izvor energije motora

Robot mora biti sposoban za autonomno obavljanje zadataka u neuređenoj okolini. Zbog toga mu je potreban prijenosni izvor struje. Baterije su najbolji izbor jer su imaju malu masu, dimenzije, te nisku cijenu. Za vozila traženih dimenzija, te izabrane motore, koriste se litij-polimer (LiPo) te olovo-kiselina akumulatorske baterije. Iako su LiPo baterije za određenu količinu energije lakše i manje, odabrane su olovne baterije zbog svoje vrlo niske cijene i mogućnosti pokretanja motora relativno velike snage. Odabrani model baterije ima 2 Ah i 12 V. To je dovoljno za oko pola sata vožnje. Ostavlja se opcija ugradnje dodatnih baterija za maksimalno 8 Ah te 24 V sa serijskim spojem dvije po dvije baterije. U toj konfiguraciji robot može imati oko 5 sati autonomije. S obzirom da je zadana mogućnost rada u prevrnutom položaju, koriste se baterije koje su zapečaćene i mogu raditi u svim položajima.



**Slika 29. Odabrana akumulatorska baterija**

## 5.2 Servo motori

Jednostavni servo motor koji se koristi za manje i srednje složene projekte u robotici sačinjavaju istosmjerni el. motor, upravljački sklop, potencijometar, te zupčani prijenos s izlaznim vratilom te kućište. [Slika 30] prikazuje rastavljeni servo motor.



**Slika 30. Rastavljeni servo motor**

Za zadatak podizanja i zatvaranja prihvatnice, odabrani su HexTronik HX12K servo motori. Njihova prednost je izdržljiv prijenos sastavljen od metalnih zupčanika, te visok okretni moment od 1 Nm. Potrebno im je samo 0,16 sekundi za 60° unatoč velikom prijenosnom omjeru. Dolaze sa nekoliko različitih nastavaka za spajanje sa ostatkom robota. Upravljanje se vrši već objašnjenim PWM signalom kao i za pogonske motore. Napajaju se strujom iz istog tipa baterije kao i pogonski motori, samo sa 6 V i 1,2 Ah.



**Slika 31. Odabrani servo motori**

## 6 MEHANIČKI SUSTAV

Mehanički dio robota obuhvaća sve konstruirane fizičke dijelove. Svaki dio robota ima svoju svrhu, te jednu ili više funkcija koje mora ispunjavati. Tako na primjer dno služi kao nosač elektroničkih komponenti, učvršćivač okvira, te istovremeno štiti unutarnje komponente od vanjskih utjecaja. Kada svi dijelovi funkcioniraju kao cjelina, moguće je kretanje i izvođenje željenih pokreta.

Prilikom konstruiranja, korištena je podjela robota na više podsklopova. Taj pristup omogućava pregledniji model, te manje opterećenje računala na kojem se modelira. Robot se tako sastoji od glavnog sklopa, te desetak podsklopova od kojih su najbitniji detaljnije objašnjeni u nastavku.

### 6.1 Okvir

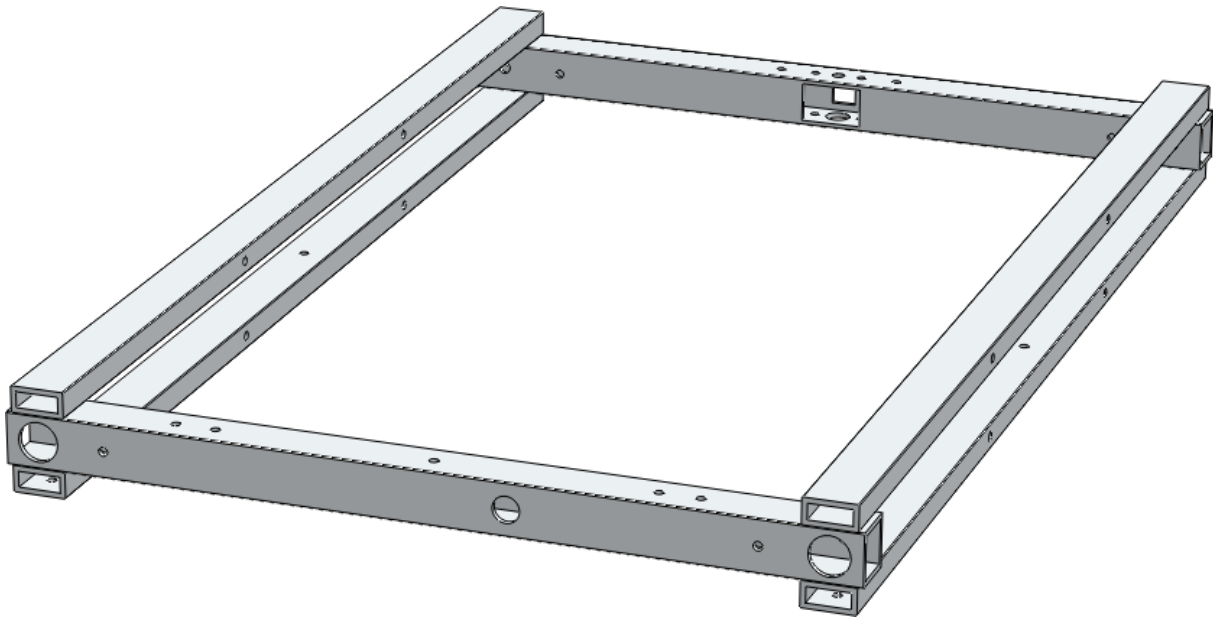
Konstruiranje cijelog robota mora se započeti sa okvirom. Uzrok tome je povezanost gotovo svih ostalih podsklopova na okvir. Povezanost se očituje u dva oblika, fizička povezanost i međuovisnost dimenzija. Fizička povezanost se odnosi npr. na vezu oblikom između okvira i prihvatnice, dok se međuovisnost dimenzija vidi na primjeru dimenzija gusjenica. Tek nakon što je poznata duljina i visina okvira, te time i tijela robota, moguće je izračunati potrebnu duljinu gusjenica.

Dimenzije okvira su ono što u najvećoj mjeri određuje konačne dimenzije robota, pa je njima potrebno posvetiti posebnu pažnju. Na dimenzije utječe više faktora, od kojih su neki međusobno oprečni, pa je potrebno naći kompromis.

Ukoliko se želi imati odličnu upravljivost i preciznost kod skretanja, idealno je robot širok i kratak, jer se time umanjuje vrlo nepredvidiv utjecaj proklizivanja gusjenica prilikom skretanja. [1] Ako je pak sposobnost prelaženja neravnog terena primarna, širina se treba smanjiti kako dno robota ne bi zagreblo po terenu. Otpornost na prevrtanje i stabilnost u vožnji se pak postiže velikom širinom i duljinom, te malom visinom.

Iz navedenog se može uočiti da je visinu moguće minimizirati, a da je potrebno naći kompromis između širine i duljine. Odabrana visina je 40 mm, što je dovoljno za korištenje 35 mm visokog prijenosnog računala. Širina okvira je 314 , a duljina 480 mm, što je dovoljno za smještaj svih komponenti, te nakon montiranja gusjenica na bokove daje kvadratni obris u tlocrtu.

Za građevne elemente okvira odabrane su pravokutne aluminijske cijevi, zbog male mase, visoke čvrstoće, niske cijene, te jednostavnosti obrade. Okvir je pravokutnog oblika, te se sastavlja od 6 cijevi. Na bokovima su po dvije cijevi kako bi se omogućila jednostavna ugradnja sklopa za promjenu međuosovinskog razmaka. Cijevi su zavarene, što okviru daje veliku krutost. Na okviru su izbušene rupe koje služe za spajanje kućišta i prihvatnice vijcima, te kao pristupne točke za zatezanje gusjenica.



**Slika 32.      Okvir**

## **6.2   Sklop za podešavanje međuosovinskog razmaka**

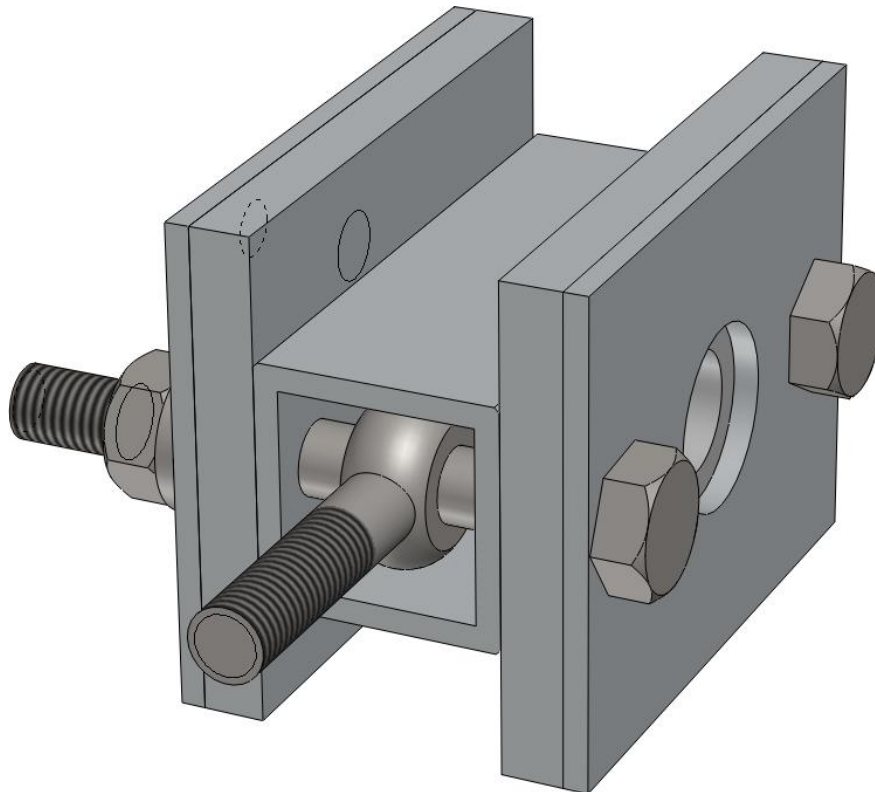
Kod postavljanja remena, traka i gusjenica, od velike je važnosti pravilno postavljanje nateznog uređaja. Uređaj se postavlja iz više razloga.

- 1) Kako bi omogućio potrebno natezanje trake zbog:
  - a) Postizanja kontaktnog pritiska trake na pogonski valjak
  - b) Prenosa pogonske sile bez klizanja
  - c) Prije svega ispravnog vođenja trake
- 2) Da prihvati dodatnu duljinu trake zbog:
  - a) Ugradnje trake
  - b) Nastalu uslijed istezanja trake kod natezanja iste

Postoje fiksni i automatski natezni uređaji. Automatski se montiraju kod korištenja dugačkih traka i kod velikih naprezanja, a fiksni kod kratkih i kod reverzibilnog smjera kretanja. [15] Kod duljine trake koja se očekuje u ovom radu, koristi se fiksni natezni uređaj. Postoje dvije vrste fiksnih nateznih uređaja; natezna petlja i pomični povratni valjak. Natezna petlja koristi

minimalno tri valjka, te nije prikladna za korištenje u ovom slučaju. Kako bi se omogućilo kretanje robota u prevrnutom stanju, te zbog jednostavnosti, odabran je fiksni natezni uređaj u izvedbi sa pomičnim povratnim valjkom.

Promjena položaja valjka tj. kotača može se omogućiti ekscentričnom rotacijom ili linearnim pomicanjem. Kako bi se izbjegla promjena visine kotača u odnosu na tijelo robota, odabrano je da se natezanje vrši pomoću sklopa u obliku klizača. Klizač može uzdužno kliziti po okviru robota, a u ostalim smjerovima mu je kretanje onemogućeno.



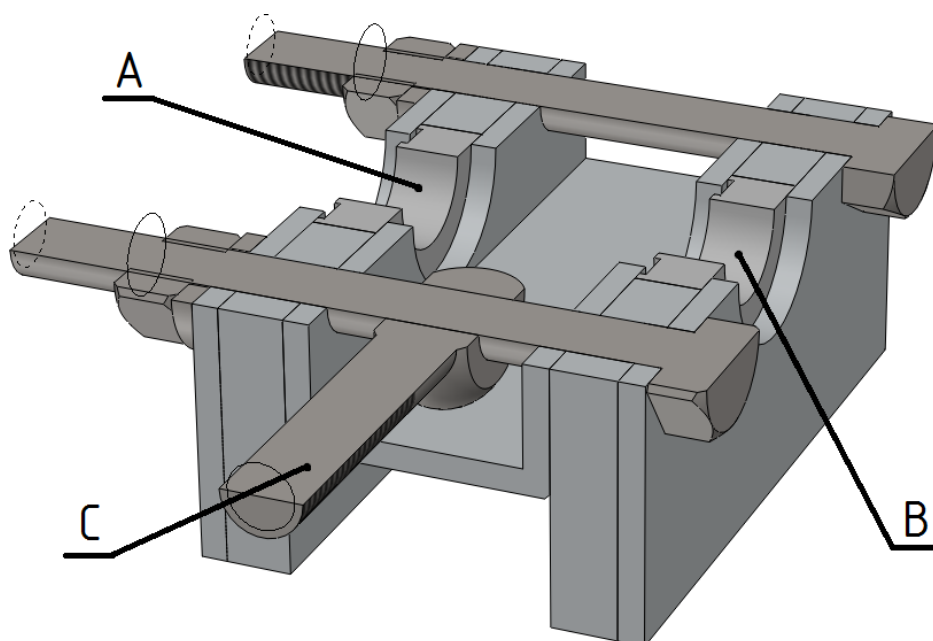
**Slika 33. Klizač**

Kako bi se postiglo precizno podešavanje međuosovinskog razmaka, iz sklopa izlazi vijak (Slika 34. - C), te se okretanjem odgovarajuće matice definira uzdužna udaljenost klizača od kraja okvira.

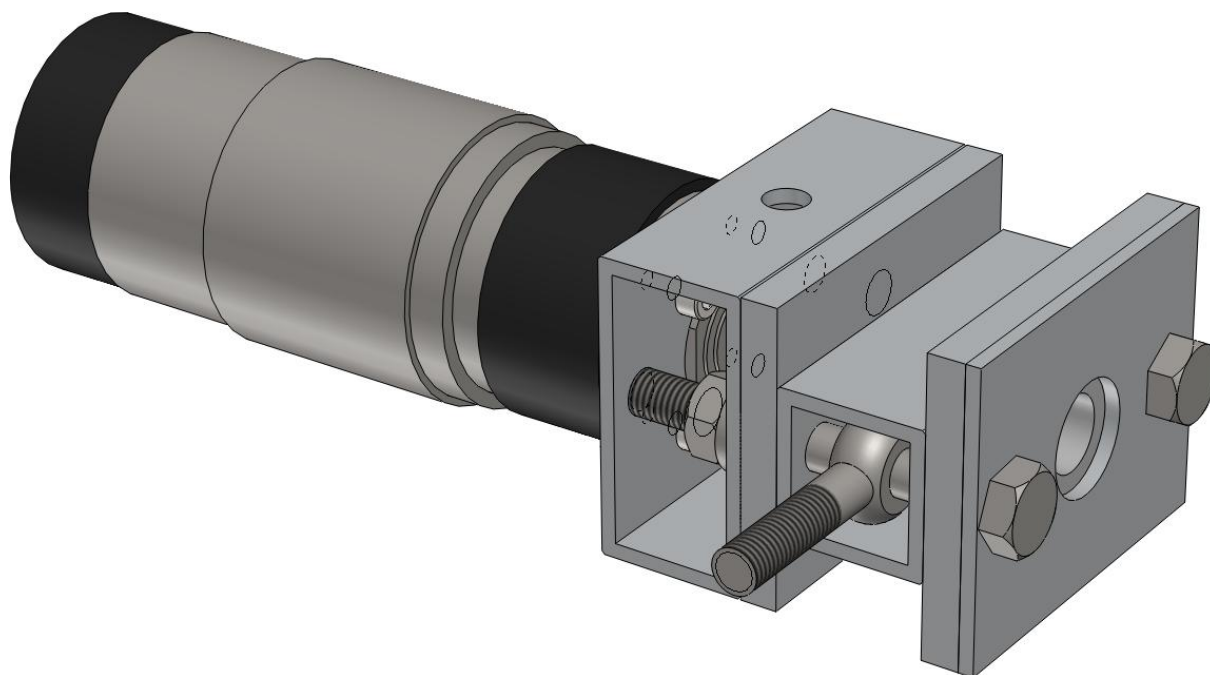
Natezni uređaj u sebi mora imati dva ležajna mjesta, koja drže odgovarajuću osovinu ili vratilo. Projektiran je sklop koji sadrži jedan čvrsti ležaj (Slika 34. - B), i jedan slobodni ležaj s mogućnošću uzdužnog pomaka po vratilu (Slika 34. - A).

Ovakav sklop postavljen je na sva četiri kotača jer to daje veću mogućnost podešavanja, te otvara opciju jednostavne ugradnje dodatnih motora za prednje kotače.

Na unutarnju stranu sklopa, u slučaju pogonskog kotača, postavlja se nosač motora te na njemu pogonski motor za taj kotač.



**Slika 34. Presjek klizača**



**Slika 35. Klizač pogonskog kotača i motor**

### 6.3 Kotači i gusjenice

Kotače i gusjenice je dobro razmatrati zajedno jer imaju puno međuovisnih dimenzija. Projektiranje tog sustava mora se započeti definiranjem vanjskog polumjera gusjenice. Ta dimenzija utječe na obodnu silu i brzinu kretanja robota. Da bi se došlo do vanjskog polumjera mora se započeti sa karakteristikama odabranih motora, te željenim karakteristikama robota. Od robota se očekuje kretanje brzinom ljudskog hoda (4,5 do 5,5 km/h) bez preopterećenja. Kako je već pokazano u proračunu pogonskih motora (5.1 Pogonski motori), gusjenice vanjskog polumjera 75 mm zadovoljiti će taj uvjet.

#### 6.3.1 Gusjenica

Kada je odabran željeni vanjski promjer, potrebno je odabrati gusjenicu odgovarajućih svojstava. Ranije je navedeno da kod traženih dimenzija korištenje transportne trake kao gusjenice ima mnogo prednosti. Uz savjet tvrtke Kolomejec, koja proizvodi vlastite trake i uvozi trake Ammeraal Beltech, pronađena je optimalna traka. Postoji vrlo velik asortiman transportnih traka koji se koristi u industriji. Ukupni program sadrži trake za etiketirke, pakirne strojeve, drvnu industriju, prehrambenu industriju, zupčaste i plosnate remene izrađene od prirodnih materijala, plastomera i elastomera. Trake koje se koriste u zračnim lukama odabrane su kao najbolje za ovu primjenu. One imaju dobra svojstva jer moraju biti efikasne u dodiru sa različitim površinama, zbog različitih tipova prtljage koji se njima transportiraju. Sposobne su raditi u različitim uvjetima jer su namijenjene za vodoravni i kosi transport. Tihe su, otporne na udarce i čuvaju energiju. [16]

Od dostupnih traka tog tipa odabrana je traka KO 2X0455 S42, koja ima sljedeća svojstva:

Sastav trake:

- Platna: 2 sloja PES, poprečno stabilna
- Transportna strana: PVC, tvrdoća 55 ShA, crna/zelena, supergrip struktura S42
- Donja strana: tiho platno, izvanredno klizna
- Debljina: cca 5,5 mm
- Težina: cca 3,6 kg/m<sup>2</sup>
- Max širina: 2000 mm
- Izvedba: odrezani krajevi

Preporučljivo zatezanje trake:

- Zavisno od uvjeta rada, 4 do 7 N/mm širine trake ( = 0,4 do 0,7 % zatezanja)
- Max 13 N/mm širine trake ( = 1,5 % zatezanja)



Minimalni promjer valjka/remenice:

- Povratni valjak:  $d_{\min} = 50 \text{ mm}$
- Natezni valjak:  $d_{\min} = 100 \text{ mm}$

Spajanje:

- Toplo zavarivanje: preklopljeni „finger“ spoj, stupnjevani spoj moguć
- Hladno: stupnjevani spoj (odgovarajuće ljepilo)
- Mehanički: mehaničke spojnice odgovarajuće veličine

Ova traka je odabrana zbog odličnog zahvata podloge koji je postignut specifičnim bodljikastim oblikom koji je dobar za neravne podloge, te materijalom koji dobro drži glatke podloge. Vrsta spajanja je toplo zavarivanje u „finger“ spoj, koje daje postepeni prijelaz kod spoja, što omogućava miran i ujednačen rad.

Kada se traži širina trake, potrebno je naći kompromis. Uska traka manje opterećuje motore, što znači više snage za pokretanje robota, dok široka traka ima bolja svojstva prijanjanja uz podlogu. Kao srednja vrijednost odabrano je 35 mm širine.

S obzirom da gusjenični pogon osim uobičajenih uzdužnih i poprečnih opterećenja traku prilikom skretanja opterećuje i bočno, nužno je postaviti neki oblik osiguranja kako traka ne bi pala sa kotača. To je moguće na više načina:

- Zidovi na rubovima kotača
- Zubi na kotačima i odgovarajuće rupe u traci
- Vodilica na traci i odgovarajući utor u kotaču

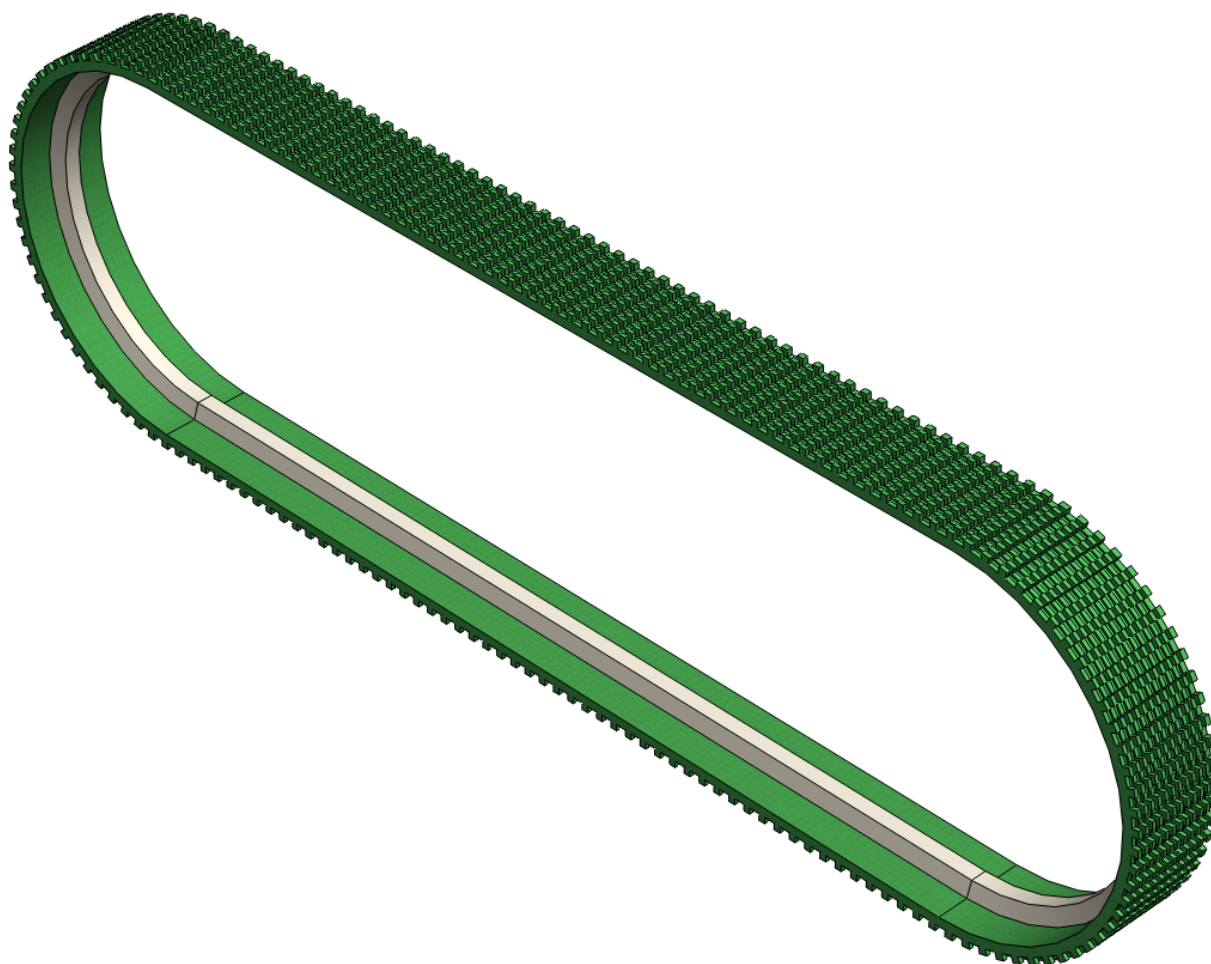
Za dimenziju trake koja se ovdje koristi, mogu se koristiti zidovi ili vodilice. Zidovi kod većih bočnih sila (koje se u ovom slučaju mogu očekivati) uništavaju traku i mogu doći u dodir sa terenom, gdje se i sami troše. Zbog toga je vodilica odabrana kao najbolje rješenje. U industriji se koriste različite vrste vodilica. Neke se montiraju na gornju stranu trake, na oba ruba, za transport sipke robe. Standardni su kvadratni, pravokutni, trapezni i okrugli oblik vodilice.

Uz savjet stručnjaka odabran je sljedeći tip vodicice:

- Oblik: trapezni
- Dimenzije: 10x6 mm
- Težina: 0,06 kg/mm
- Materijal: puni PVC
- Tvrdća: 60 Shora A

Profili vodicice se zahvaljujući posebno razvijenim strojevima termički zavaruju na transportni ili donji sloj trake.

Kod korištenja vodicice potrebno je pripaziti na manju savitljivost trake nakon postavljanja. Trapezna vodicica zahtijeva da promjer valjka/remenice bude minimalno 8 visina profila.



Slika 36. Gusjenica

### 6.3.2 Obloga kotača

S obzirom da se koristi gusjenica u obliku trake za transport, javlja se problem mogućeg proklizivanja gusjenice. Trake koje se koriste u zračnim lukama su posebno osjetljive na taj problem s obzirom da u upotrebi većinom svoje površine kližu po klizačima, pa zbog propisa

o dozvoljenoj buci imaju specijalnu lako klizeću donju stranu. Kako bi se izbjeglo klizanje, kotači se oblažu sa tarnom oblogom koja je u biti isto vrsta trake. Izabrana je obloga koja ima najbolje performanse ali se i nešto brže troši.

Obloga ima sljedeća svojstva:

- Vrsta: N1 S15
- Boja pokrova: bijela
- Kvaliteta površine: strukturirana / „ping-pong“
- Debljina trake: 2,4 mm
- Materijal: PVC
- Norma: FDA

### 6.3.3 Kotač

Dimenzije kotača ovise o drugim dijelovima. Oduzimanjem debljine gusjenice, obloge i ljepila za oblogu od definiranog vanjskog polumjera, dobiva se polumjer i promjer kotača.

$$r_k = r_v - (d_g + d_o + d_{lj})$$

$$r_k = 75 - (5,5 + 2,4 + 0,1)$$

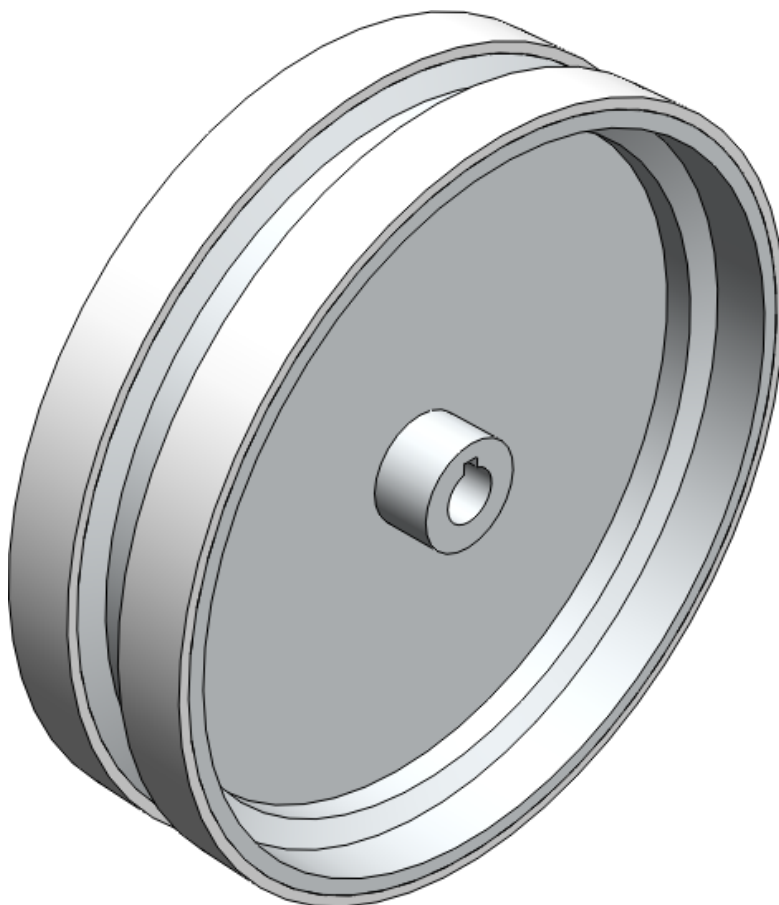
$$r_k = 67 \text{ mm}$$

$$\varnothing_k = 134 \text{ mm}$$

Utor za vodilicu mora ostavljati jedan do dva milimetra slobodnog prostora u širini i dubini da ne dođe do zaglavljivanja, pa se nakon uzimanja debljine tarne obloge u obzir dobivaju dimenzije 11 x 4,5 mm.

Širina kotača se uzima nešto veća od širine gusjenice, kako rub gusjenice ne bi ispadao van kotača, te iznosi 37 mm.

Kotač se izrađuje tokarenjem iz aluminijskog sirovca, a zatim se probija utor za pero koje spaja kotač i vratilo.

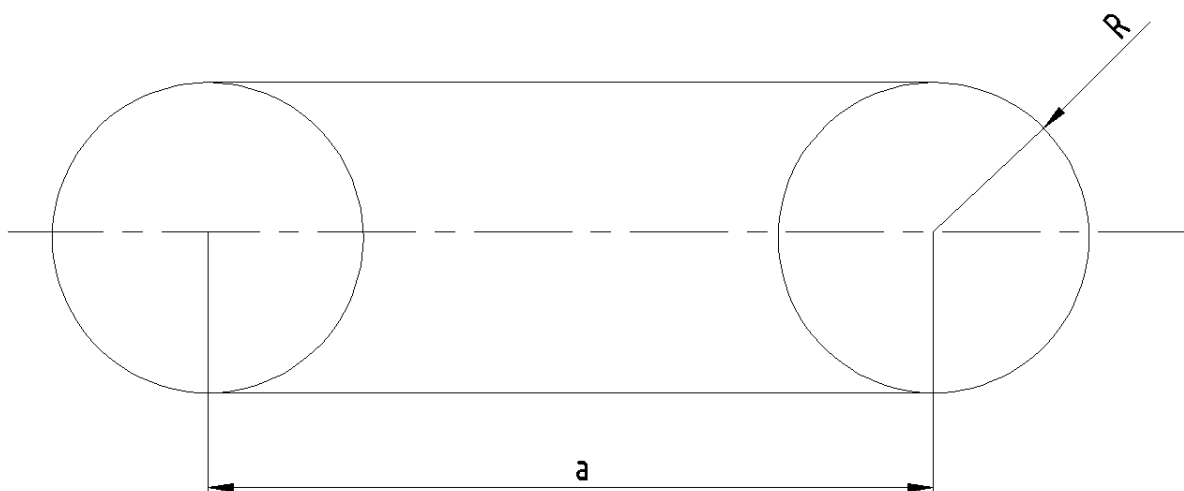


**Slika 37. Kotač sa oblogom**

#### **6.3.4 Proračun duljine gusjenice**

Kao ulazni parametri ovog proračuna uzimaju se minimalni i maksimalni međuosovinski razmak, koji su poznati iz dimenzija okvira i klizača, te unutarnji polumjer gusjenice, tj. kotača sa oblogom i ljepilom.

U praksi se uzima da traka mora točno pasati na kotače kada su oni na jednoj četvrtini svog puta podešavanja. Put podešavanja je razlika maksimalnog i minimalnog međuosovinskog razmaka. Prva četvrtina tog puta se koristi za montažu, a ostatak za natezanje trake.



**Slika 38. Skica gusjenice**

Unutarnji polumjer gusjenice, tj. vanjski polumjer kotača s oblogom i ljepilom:

$$R = r_k + d_o + d_{lj}$$

$$R = 67 + 2,4 + 0,1$$

$$R = 69,5 \text{ mm}$$

Minimalni međuosovinski razmak:

$$a_{min} = 352 \text{ mm}$$

Maksimalni međuosovinski razmak:

$$a_{min} = 370 \text{ mm}$$

Minimalna duljina gusjenice:

$$L_{i \min} = 2 \cdot R \cdot \pi + 2 \cdot a_{min}$$

$$L_{i \min} = 2 \cdot 69,5 \cdot \pi + 2 \cdot 352$$

$$L_{i \min} = 1141 \text{ mm}$$

Minimalna duljina gusjenice:

$$L_{i \max} = 2 \cdot R \cdot \pi + 2 \cdot a_{max}$$

$$L_{i \max} = 2 \cdot 69,5 \cdot \pi + 2 \cdot 370$$

$$L_{i \max} = 1177 \text{ mm}$$

Put podešavanja:

$$\Delta = L_{i \max} - L_{i \min}$$

$$\Delta = 1141 - 1177$$

$$\Delta = 36 \text{ mm}$$

Odabrana duljina gusjenice:

$$L_i = L_{\min} + \frac{1}{4} \Delta$$

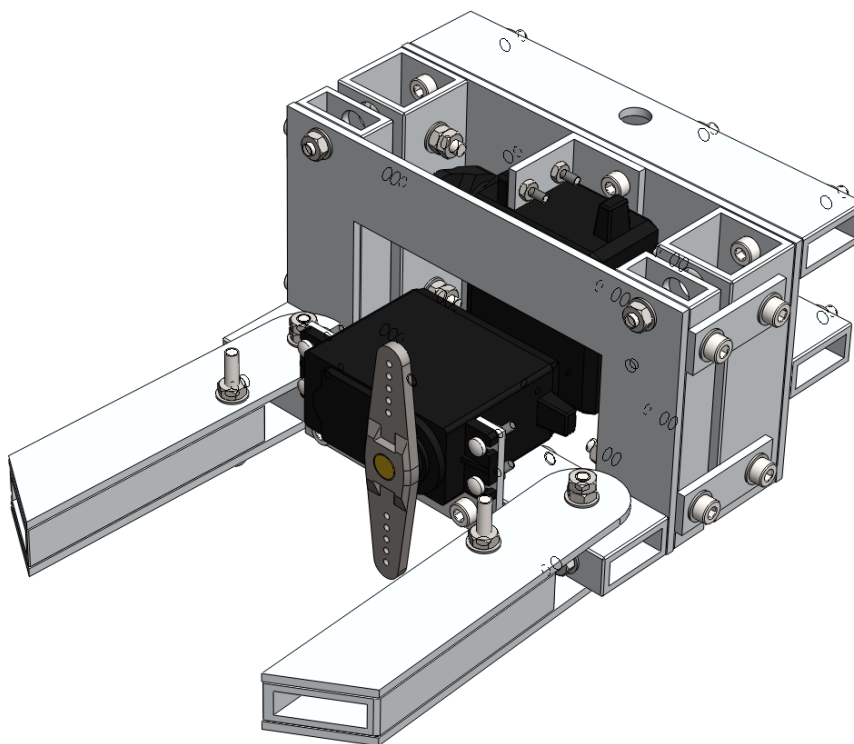
$$L_i = 1141 + \frac{1}{4} \cdot 36$$

$$L_i = 1150 \text{ mm}$$

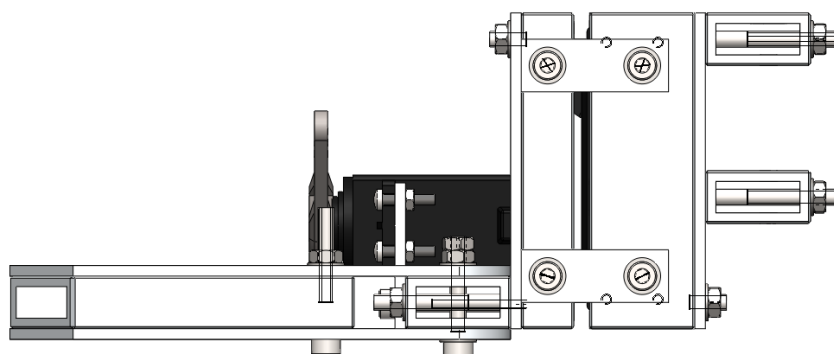
Na ovakvu duljinu, očekuju se odstupanja unutar  $\pm 2$  mm.

## 6.4 Prihvatnica

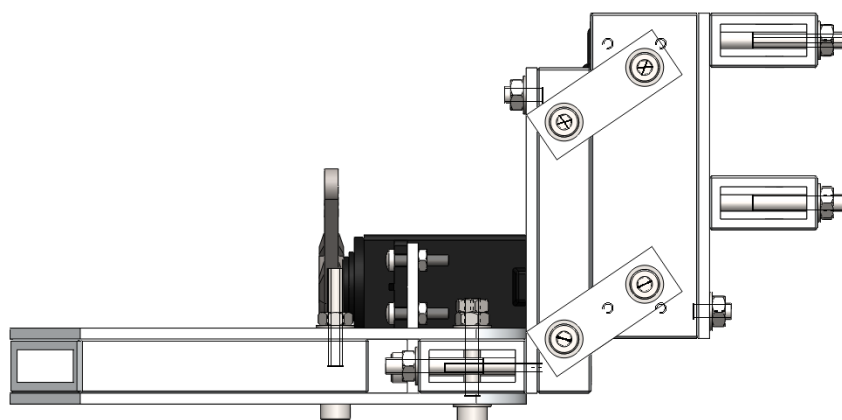
Dimenzije prihvatnice ovise o više faktora. Minimalne dimenzije ograničene su veličinom servo motora koji moraju biti smješteni u njoj. Maksimalne dimenzije ovise o veličini samog robota. Kada bi se robot konstruirao za određenu primjenu, širina zahvata bila bi definirana širinom predmeta kojima robot manipulira. S obzirom da u ovom slučaju nema predodređenog predmeta, uzima se najmanja moguća veličina, što daje najčvršće primanje predmeta i najnižu cijenu materijala i izrade. Rotacija stražnjeg (unutrašnjeg) servo motora podiže ili spušta prihvatnicu, a rotacija drugog ju otvara ili zatvara. Ovisno o dimenzijama predmeta, nastavci motora spajaju se sa ostalim dijelovima prihvatnice pomoću čvrstih žica različite dužine. Takav način spajanja predstavlja sigurnosni sustav gdje u slučaju prejakog stezanja dolazi do trajne deformacije spojne žice, čime se izbjegavaju oštećenja motora ili tijela prihvatnice. Na stražnjoj strani se nalaze dvije horizontale cijevi koje ostvaruju vezu oblikom sa prednjim dijelom robota. Ubacivanjem vertikalnog osigurača koji prolazi kroz te cijevi i kroz okvir robota, te spajanjem odgovarajućih električnih kontakata, prihvatnica je spojena.



**Slika 39. Prihvatnica**



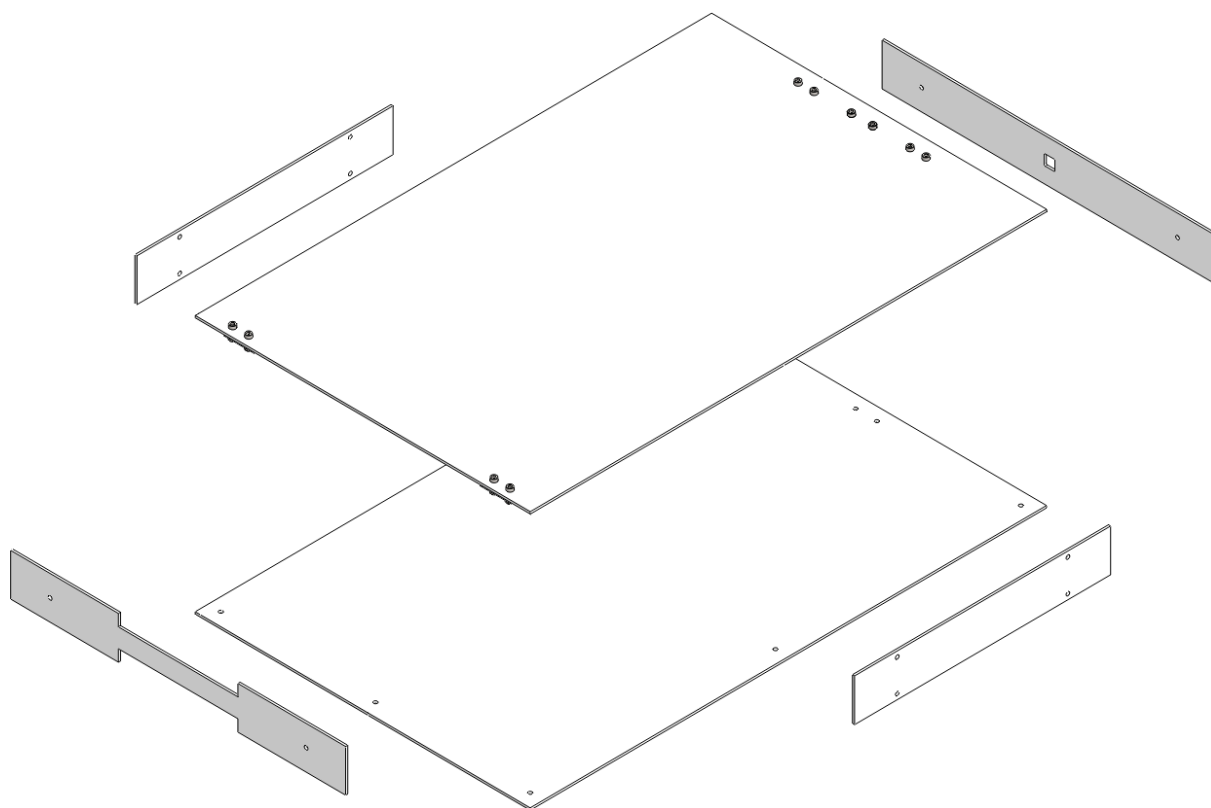
**Slika 40. Bočni pogled prihvatnice – podignuta**



**Slika 41. Bočni pogled prihvatnice - spuštена**

## 6.5 Kućište

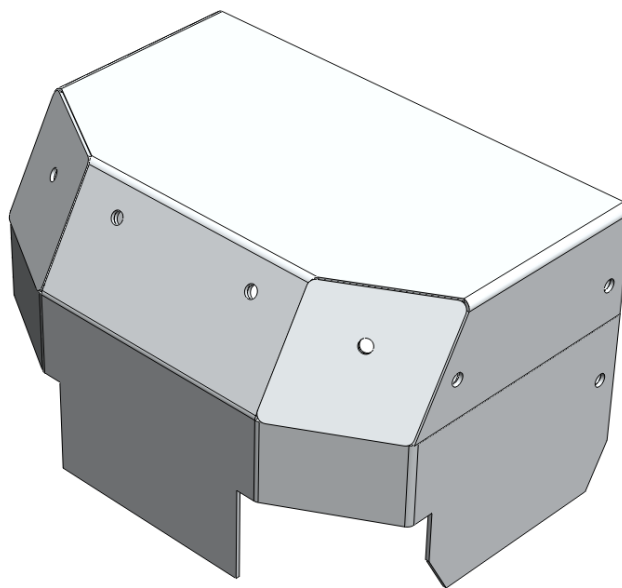
Pri vožnji na otvorenom može se dogoditi da među komponente upadne komad zemlje ili kakva druga nečistoća. Iz tog su razloga na sve stranice robota dodane odgovarajuće zaštitne ploče. Osim što štite unutrašnjost robota od vanjskih utjecaja, dijelovi kućišta imaju i druge svrhe. Dno ukružuje okvir i služi kao platforma koja nosi prijenosno računalo, elektroniku i baterije. Bočni poklopci spajanjem više dijelova okvira također umanjuju nepoželjno savijanje. Gornji poklopac na sebi ima odgovarajuće kopče koje imaju svoje hvatište na okviru, tako da je omogućeno jednostavno otvaranje robota. Osim toga, na stražnjoj strani gornjeg poklopca nalazi se mehanizam koji onemogućava slučajno otvaranje robota pri upotrebi na neravnom terenu.



Slika 42. Dijelovi kućišta



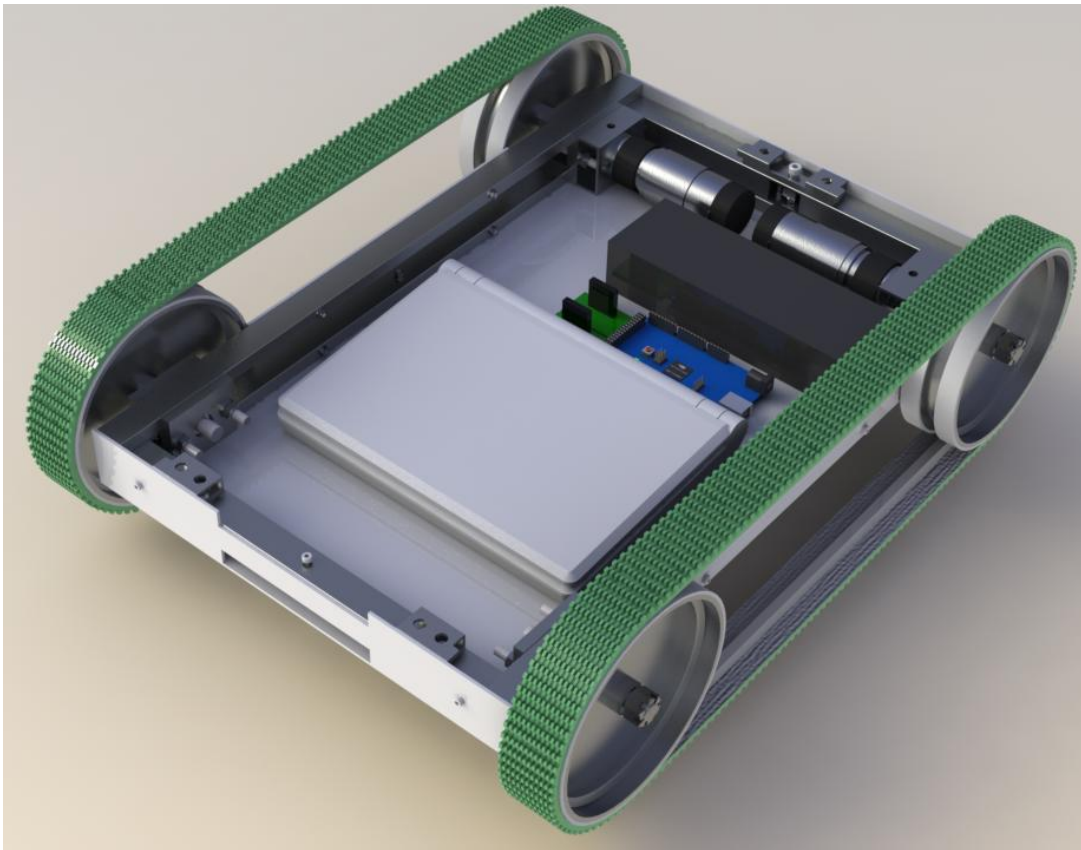
Za prihvatnicu je napravljeno odvojeno kućište od savijanog aluminijskog lima spojenog zakovicama.



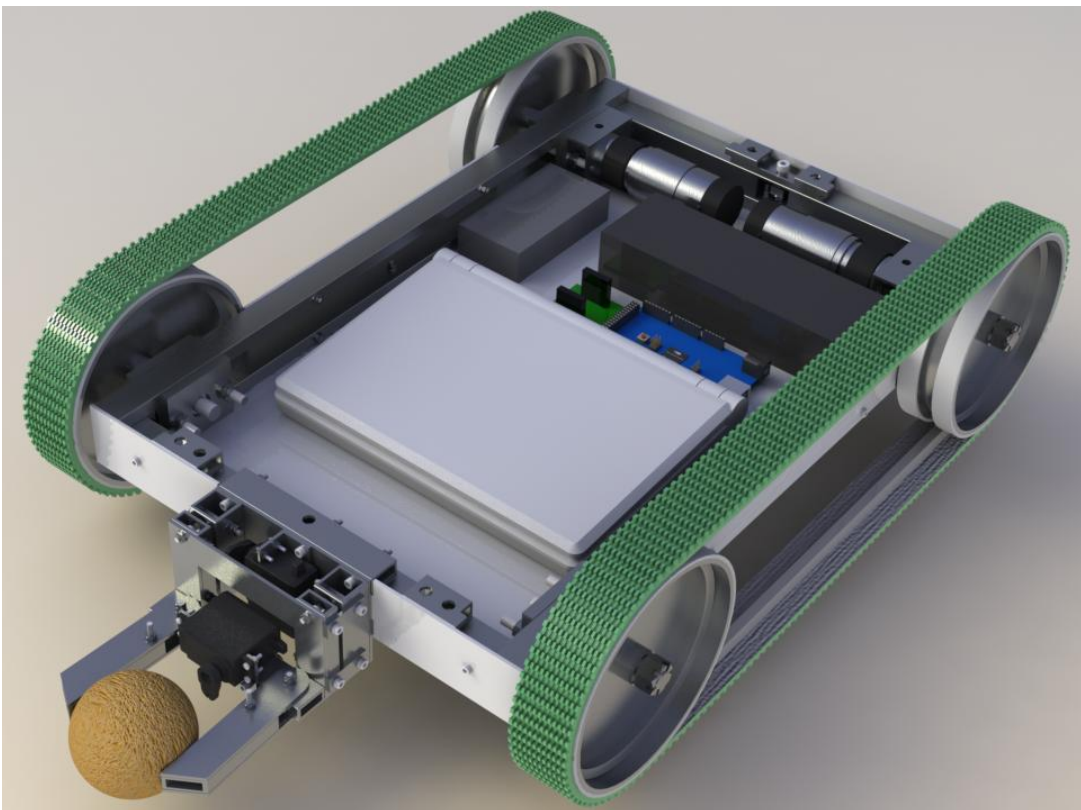
**Slika 43. Kućište prihvatnice**

## **6.6 Konačni izgled robota**

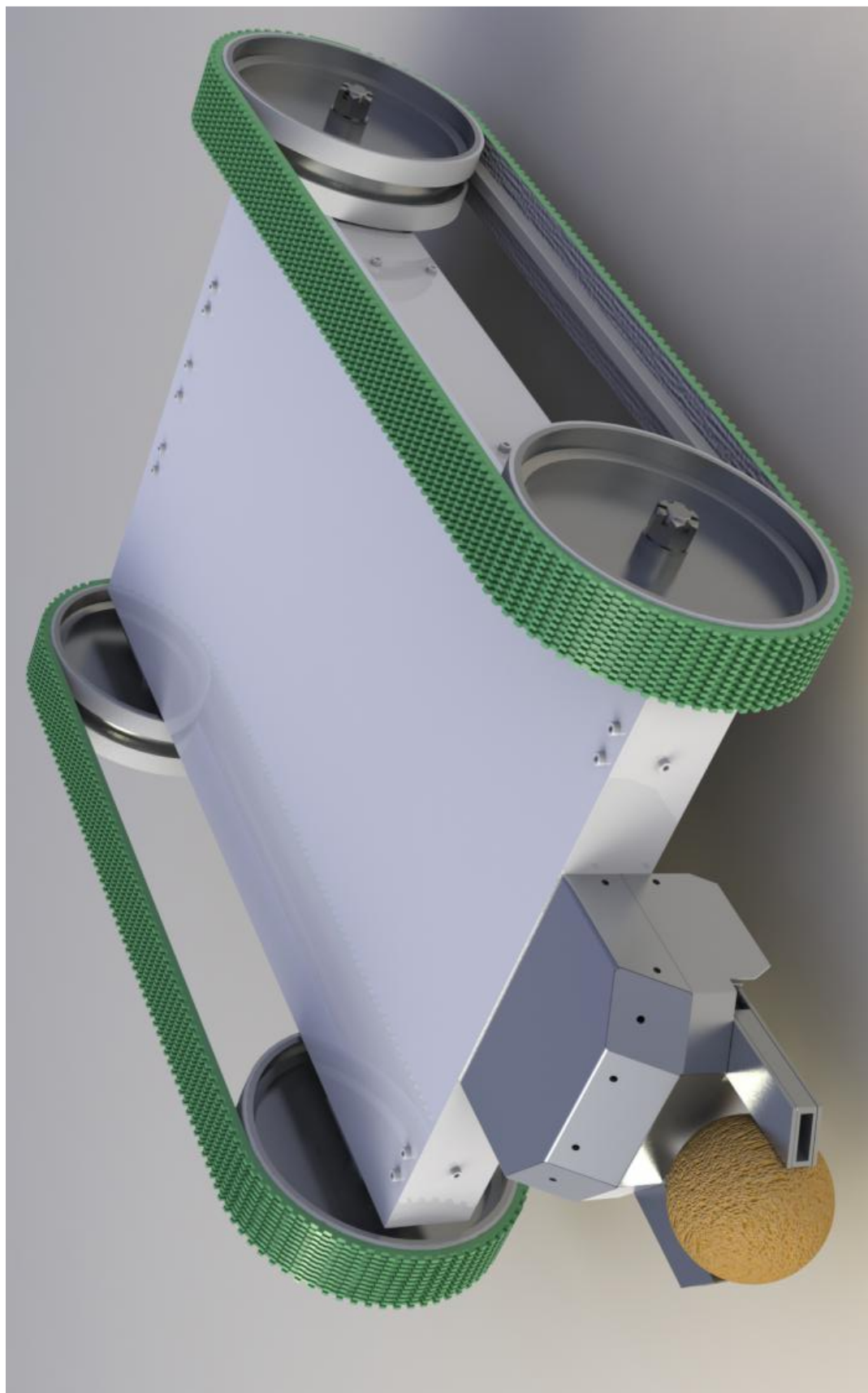
Spajanjem opisanih podsklopova i dijelova, te dodavanjem odgovarajućih vijaka, matica i podložnih pločica, dobiva se kompletni mehanički dio robota. Ubacivanjem elektroničkih komponenti kao što su računalo, Arduino i baterije, dobiva se ukupni fizički dio robota. Na sljedećim slikama prikazan je izgled unutrašnjosti robota, robota sa priključenom prihvatnicom, te kompletnog robota sa prihvatnicom i svim odgovarajućim kućištima. Kako bi se dala relativna veličina, robot prihvaća tenisku loptu promjera 65 mm.



**Slika 44. Unutrašnjost robota**



**Slika 45. Unutrašnjost robota i dodatne prihvatnice**



**Slika 46.      Kompletni sklop**

## 7 ZAKLJUČAK

Mobilni roboti na gusjenični pogon sve su češća pojava u modernom svijetu. Trenutno ih najviše koristi policija, vojska i vatrogasne postrojbe, no očekuje se njihovo širenje na sva područja ljudskog djelovanja gdje je prepreka nepristupačan teren ili gdje postoji opasnost od ozljeđivanja za čovjeka.

U radu je objašnjena teorija i praksa postupka razvoja i konstruiranja novog mobilnog robota. Za izradu ovog rada korištena su teorijska znanja i vještine iz mnogo područja kao što su elektrotehnika, računarstvo, mehanika, konstruiranje pomoću računala, razvoj proizvoda, konstruiranje. Iako vrlo korisna u nekim dijelovima, u praktičnom dijelu rada, teorija često ostavlja područja koja ne mogu biti znanstveno obrađena zbog nepredvidivosti okoline ili zbog prevelike specifičnosti problema. Osim toga, na više mjesta u radu, bilo je u teoriji moguće napraviti nekoliko različitih rješenja istog problema. U takvim slučajevima ključno je bilo traženje savjeta od stručnjaka koji se u praksi susreću sa sličnim problemima. Na taj način brzo je postavljeno puno rješenja za određeni problem i zatim je odabrano rješenje koje najbolje ispunjava zahtjeve. Koristeći sve navedene metode, te njihovim spajanjem u smislenu cjelinu, dobiven je konačni izgled robota.

Robot je sposoban za vožnju po neravnom terenu i ukoliko se prevrne, može se bez smetnji nastaviti kretati. Omogućeno je bežično upravljanje preko računala. Iako robot ispunjava sve uvjete koji su zadani na početku rada, postoji prostor za nadogradnju i proširivanje. Tu se uglavnom misli na izradu specifičnog paketa softvera ovisno o primjeni jer su priloženi programi u svojoj biti osnovni i služe za demonstraciju mogućnosti robota. Ovakav robot mogao bi se, uz jednostavno dodavanje željenih senzora u za to predviđene slobodne priključke, te uz korištenje adekvatnog softvera, koristiti za izvršavanje velikog broja zadataka.

## 8 PRILOZI

Radu se prilažu program mikrokontrolera, sučelje za računalo i tehnički nacrti.

### 8.1 Programski kod Arduino mikrokontrolera

```
/*
 * Ponašanje: Arduino osluškuje serijski port i čeka naredbu u obliku 65,65,65, (NAREDBA),
 (PARAMETAR)
 *
 * Podržane naredbe - 'F' - 70 - Naprijed
 *                   'B' - 66 - Natrag
 *                   'L' - 76 - Lijevo
 *                   'R' - 82 - Desno
 *                   'S' - 83 - Brzina
 *                   'X' - 88 - LijevaBrzina
 *                   'Y' - 89 - DesnaBrzina
 *                   'C' - 67 - Stop
 *                   'K' - 75 - Klješta (Prednji servo)
 *                   'P' - 80 - Podizač (Stražnji servo)
 *
 * Podržano vrijeme - 0 - 255 (0 do 25.5 sekundi) vrijednost * 100 milisekundi
 *
 * Spojevi: Signal desnog motora - pin 9
 *          Signal lijevog motora - pin 10
 *          Signal prednjeg serva - pin 11
 *          Signal stražnjeg serva - pin 12
 *
 * Based on Arduino Controlled Web Connected Robot (WEBB) - Serial Host
 * For more details visit: http://www.oomlout.com/serb
 *
 * License: This work is licenced under the Creative Commons
 *          Attribution-Share Alike 3.0 Unported License. To
 *          view a copy of this licence, visit
 *          http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/
 *          or send a letter to Creative Commons, 171 Second
 *          Street, Suite 300, San Francisco, California 94105,
 *          USA.
 */

//-----
```

```
//Uvod za Arduino serijski server
//definiranje konstanti koje odgovaraju svakoj naredbi

#define NAPRIJED 70    //F
#define NATRAG 66      //B
#define LIJEVO 76      //L
#define DESNO 82       //R
#define NAMJESTIBRZINU 83    //S
#define STOP 67        //C
#define NAMJESTILIJEVUBRZINU 88    //X
#define NAMJESTIDESNUBRZINU 89    //Y
#define NAMJESTIKLJESTA 75    //K
#define NAMJESTIPODIZAC 80    //P

//Tri bajta za provjeru, kako robot ne bi reagirao na nasumične podatke

#define BajtProvjere1 65    // A
#define BajtProvjere2 65    // A
#define BajtProvjere3 65    // A

//Kraj uvoda za Arduino serijski server
//-----
//Uvod podešavanja robota

#include <Servo.h>

#define PINLIJEVOGMOTORA 10 //Pin na koji je spojen lijevi motor
#define PINDESNOMOTORA 9   //Pin na koji je spojen desni motor
#define PINPREDNJEGERVA 11 //Pin na koji je spojen prednji servo
#define PINSTRAZNJEGERVA 12 //Pin na koji je spojen stražnji servo

Servo LijeviMotor;
Servo DesniMotor;
Servo PrednjiServo;
Servo StraznjiServo;

int LijevaBrzina = 50;    //Sadrži brzinu lijevog motora
                          //postotak između 0 i 100

int DesnaBrzina = 50;    //Sadrži brzinu desnog motora
                          //postotak između 0 i 100

int PolozajKljesta = 50; //Sadrži položaj klješta
```

```
//postotak između 0 i 100

int PolozajPodizaca = 50; //Sadrži položaj podizača
//postotak između 0 i 100

//Kraj uvoda podešavanja robota
//-----
//Inicijalizacija programa, pokreće se jednom

void setup() {
    Serial.begin(9600);          //Pokreće serijski port
    PostavljanjeRobota();        //Postavlja stanje svih potrebnih pinova i dodaje
motore u skicu
}

//Glavna petlja programa, izvršava se kontinuirano

void loop() {
    serbPollSerialPort();        //Kontinuirano očitava serijski port i ukoliko nađe na
naredbu, izvršava ju
}

//-----
//Početak rutina Arduino serijskog servera
/*
 * Prosljeđuje naredbu sa serijskog porta u odgovarajućem obliku
 */
void serbPollSerialPort() {
    int dta;                    //Varijabla koja sadrži bajt sa serijskog
porta
    if ( Serial.available() >= 5) { //Ukoliko je u međuspremniku 5 bajtova
        dta = Serial.read();
        if ( dta = BajtProvjerel){ //Provjerava prvi bajt provjere
            dta = Serial.read();
            if ( dta = BajtProvjere2){ //Provjerava drugi bajt provjere
                dta = Serial.read();
                if ( dta = BajtProvjere3){ //Provjerava treći bajt provjere
                    int naredba = Serial.read(); //Četvrti bajt je naredba
                    int parametar = Serial.read(); //Peti bajt je parametar
                    interpretCommand(naredba, parametar); //Prosljeđuje naredbu
                }
            }
        }
    }
}
```

```
    }  
}  
  
/*  
 * Uzima naredbu i parametar i      šalje ju robotu  
 */  
void interpretCommand(int naredba, int parametar) {  
    if (naredba == NAPRIJED){  
        idiNaprijed();  
        delay(parametar * 100);  
        idiStop();  
    }  
    else if (naredba == NATRAG){  
        idiNatrag();  
        delay(parametar * 100);  
        idiStop();  
    }  
    else if (naredba == LIJEVO){  
        idiLijevo();  
        delay(parametar * 100);  
        idiStop();  
    }  
    else if (naredba == DESNO){  
        idiDesno();  
        delay(parametar * 100);  
        idiStop();  
    }  
    else if (naredba == NAMJESTIBRZINU){  
        setSpeed(parametar);  
    }  
    else if (naredba == STOP){  
        idiStop();  
    }  
    else if (naredba == NAMJESTILIJEVUBRZINU){  
        namjestiLijevuBrzinu(parametar);  
    }  
    else if (naredba == NAMJESTIDESNUBRZINU){  
        namjestiDesnuBrzinu(parametar);  
    }  
    else if (naredba == NAMJESTIKLJESTA){  
        namjestiKljesta(parametar);  
    }  
}
```



```
else if (naredba == NAMJESTIPODIZAC){
    namjestiPodizac(parametar);
}

else { //ako naredba nije prepoznata robot se okrene lijevo pa desno
    idiLijevo();
    delay(150);
    idiDesno();
    delay(150);
    idiStop();
}
}

//Kraj rutina Arduino serijskog servera
//-----
//Početak rutina robota

//podešava Arduino da se obraća robotu pomoću navedenih rutina

void PostavljanjeRobota(){
    setSpeed(LijeveBrzina);

    pinMode(PINLIJEVOGMOTORA, OUTPUT);    //postavlja signalni pin lijevog motora
                                           //na 'izlaz'
    pinMode(PINDESGMOTORA, OUTPUT);    //postavlja signalni pin desnog motora
                                           //na 'izlaz'
    pinMode(PINDESGMOTORA, OUTPUT);    //postavlja signalni pin prednjeg serva
                                           //na 'izlaz'
    pinMode(PINDESGMOTORA, OUTPUT);    //postavlja signalni pin prednjeg serva
                                           //na 'izlaz'

    LjeviMotor.attach(PINLIJEVOGMOTORA);    //priključuje lijevi motor
    DesniMotor.attach(PINDESGMOTORA);    //priključuje desni motor
    PrednjiServo.attach(PINPREDNJEGERVA);    //priključuje prednji servo
    StraznjiServo.attach(PINSTRAZNJEGERVA);    //priključuje stražnji servo
    idiStop();
}

// podešava brzinu robota
void setSpeed(int novaBrzina){
    namjestiLjevuBrzinu(novaBrzina);    //postavlja lijevu brzinu
    namjestiDesnuBrzinu(novaBrzina);    //postavlja desnu brzinu
}
```

```
//postavlja brzinu lijeve gusjenice

void namjestiLijevuBrzinu(int novaBrzina){
    if(novaBrzina >= 100) {
        novaBrzina = 100;
    }

    if(novaBrzina <= 0) {
        novaBrzina = 0;
    }
    LijevaBrzina = novaBrzina * 0.9;           //između 0 i 90
}

//postavlja brzinu desne gusjenice

void namjestiDesnuBrzinu(int novaBrzina){
    if(novaBrzina >= 100) {
        novaBrzina = 100;
    }

    if(novaBrzina <= 0) {
        novaBrzina = 0;
    }

    DesnaBrzina = novaBrzina * 0.9;           //između 0 i 90
}

//postavlja položaj klješta

void namjestiKljestu(int noviPoložaj){
    PrednjiServo.write(noviPoložaj);
}

//postavlja položaj podizača

void namjestiPodizac(int noviPoložaj){
    StraznjiServo.write(noviPoložaj);
}
```

```
//šalje robota naprijed

void idiNaprijed(){
    LijeviMotor.write(90 + LijevaBrzina);
    DesniMotor.write(90 - DesnaBrzina);
}

//šalje robota natrag

void idiNatrag(){
    LijeviMotor.write(90 - LijevaBrzina);
    DesniMotor.write(90 + DesnaBrzina);
}

//okreće robota desno
void idiDesno(){
    LijeviMotor.write(90 + LijevaBrzina);
    DesniMotor.write(90 + DesnaBrzina);
}

//okreće robota lijevo
void idiLijevo(){
    LijeviMotor.write(90 - LijevaBrzina);
    DesniMotor.write(90 - DesnaBrzina);
}

//zaustavlja robota
void idiStop(){
    LijeviMotor.write(90);
    DesniMotor.write(90);
}

//Kraj rutina robota
//-----
```

## 8.2 HTML kod upravljačke stranice

```
<html>
<head>

<title>Upravljačka stranica</title>
<style>
```

```
html,body{
    height: 100%;

    font-family: Verdana, Geneva, Arial, Helvetica, sans-serif;
    font-size: 12px;
    margin: 0px;
}

</style>

<SCRIPT LANGUAGE="JavaScript">

function gibanjeRequest (command1){
    var ipA = document.getElementById('ipAddressID').value;
    var portA = document.getElementById('portID').value;
    var param1A = document.getElementById('timeID').value;
    sendArduinoRequest(ipA, portA, command1, param1A);
}

function prihvatanicaRequest (command1){
    var ipA = document.getElementById('ipAddressID').value;
    var portA = document.getElementById('portID').value;
    var param1A = document.getElementById('stupanjID0:35 4.5.2012.').value;
    sendArduinoRequest(ipA, portA, command1, param1A);
}

function sendArduinoRequest (ipR, portR, commandR, param1R){
    var requestString = 'http://' + ipR + ':' + portR + '/request?command=' + commandR +
    '&param1=' + param1R;
    document.getElementById('boxID').src=requestString;
}

</script>

</head>

<body>
<br>
    <center>
```

```
<table width="300px" height="100px" bgcolor="#ffffff">
<tr>
<td>
<center>

IP Adresa: <input type="text" id="ipAddressID" name="ipAddress" value="192.168.1.7" size="17"
>
<br>
<br>
Port: <input type="text" id="portID" name="port" value="12345" size="6" content="12345" >

</center>
</td>

</tr>
</table>

<table width="300px" height="400px" border="0px" cellpadding="0px" bgcolor="#aaaaaa"
CELLPADDING="5">

<tr>

<td> <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('K')">
PRIHVATNICA </button> </center></td>

<td> <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('F')"> NAPRIJED
</button> </center> </TD>

<td> <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('P')">
PODIZANJE </button> </center></td>

</tr>

<tr>

<td> <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('L')">
LIJEVO</button> </center></td>

<td>
<center>
```

```

Vrijeme <br>
<input type="text" size="4" content="50" id="timeID" name="time" value="5"><br>
Stupanj<br>
<input type="text" size="4" content="50" id="stupanjID" name="stupanj" value="5"><br>
</center>
</td>

<td>   <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('R')">  DESNO
</button> </center> </TD>

</tr>

<tr>

<td></td>

<td>   <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('B')">  NATRAG
</button> </center> </td>

<td></td>

</tr>
<tr>
<td>   <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('S')">  Namjesti
Brzinu </button> </center> </td>
<td>   <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('X')">  Namjesti
Lijevu </button> </center> </td>
<td>   <center><button style="width:100px;height:100px" onClick="gibanjeRequest('Y')">  Namjesti
Desnu </button> </center> </td>

</table>

</center>
<br>
&nbsp; &nbsp; &nbsp; &nbsp; &nbsp; Zadnja naredba:<br>
<center>
<iframe width="760px" height="50px" frameborder="0" id="boxID" >
</center>
</body>
</html>

```

## 9 LITERATURA

- [1] A. M. J. M. A. G.-C. S. P. J.L. Martínez, Kinematic Modelling of Tracked Vehicles by Experimental Identification, Málaga, Španjolska: Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga.
- [2] M. G. Bekker, Theory of Land Locomotion, The University of Michigan, 1956.
- [3] V. H. Muncino, Computer Aided Design Through Engineering Case Studies, West Virginia University, 1997.
- [4] M. Štorga, Vježbe za Razvoj Proizvoda, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2009.
- [5] C. McManis, »Micro-Controllers for Robotics,« [Mrežno]. Available: <http://www.mcmanis.com/chuck/robotics/controllers/index.html>.
- [6] »Arduino - HomePage,« [Mrežno]. Available: <http://arduino.cc>.
- [7] G. Erceg, Upravljanje elektromotornim pogonima, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2006.
- [8] C. McManis, »H-Bridges: Theory and Practice,« 2006. [Mrežno]. Available: <http://www.mcmanis.com/chuck/robotics/tutorial/h-bridge/>.
- [9] M. Barr, »Introduction to Pulse Width Modulation (PWM),« Barr Group, 2007. [Mrežno]. Available: <http://www.netrino.com/Embedded-Systems/How-To/PWM-Pulse-Width-Modulation>.
- [10] M. Husnjak, Teorija mehanizama, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2009.
- [11] oomlout, »WEBB-Processing Webserver,« [Mrežno]. Available: <http://www.instructables.com/files/orig/FC0/XXDU/FNZAEOK4/FC0XXDUFNZAEOK4.zip>.
- [12] »Start - oomlout,« [Mrežno]. Available: <http://www.oomlout.com>.
- [13] »LMD18200 3A, 55V H-Bridge,« National Semiconductor, 2011.
- [14] A. Garfield, »fromorbit.com,« 2004. [Mrežno]. Available: [www.fromorbit.com/sites/default/files/lmd18200\\_adapter\\_pdf.zip](http://www.fromorbit.com/sites/default/files/lmd18200_adapter_pdf.zip).
- [15] M. Kolomejec, Konvejeri - Osnovne smjernice kod određivanja konvejera s procesnim i

transportnim trakama, Zagreb: Kolomejec d.o.o..

[16] Ammeraal Beltech Inc., »Belts for the Airport Industry,« Ammeraal Beltech Inc..